



Aalto-yliopisto
Sähkötekniikan korkeakoulu

Laura Remes

Älykkään talotekniikan ja ihmiskeskeisen valaistuksen hyödyt ja niiden todentaminen

Diplomityö, joka on jätetty
opinnäytteenä tarkistettavaksi diplomi-
insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 18.2.2019

Valvoja: PoP Jaakko Ketomäki

Ohjaaja: Lic.Sc. Mika Maaspuro

AALTO-YLIOPISTO TEKNILLISET KORKEAKOULUT PL 11000, 00076 AALTO. http://www.aalto.fi		Diplomityön tiivistelmä
Tekijä: Laura Remes		
Työn nimi: Älykkään talotekniikan ja ihmiskeskeisen valaistuksen hyödyt ja niiden todentaminen		
Korkeakoulu: Sähkötekniikan korkeakoulu (ELEC)		
Laitos: Sähkötekniikan ja automaation laitos (AEE)		
Pääaineen nimi: Translationaalinen tekniikka		Pääaineen koodi: ELEC3023
Työn valvoja: PoP Jaakko Ketomäki	Työn ohjaaja: Lic.Sc. Mika Maaspuro	
<p>Tämä diplomityö käsittelee älykkään talotekniikan ja ihmiskeskeisen valaistuksen hyötyjä ja niiden todentamista. Diplomityö sisältää kirjallisuuskatsauksen ja pilottitutkimuksen. Tavoitteena on osoittaa älykkään talotekniikan hyödyllisyys kolmen eri näkökulman kautta. Näkökulmat ovat ekonomiset, ekologiset ja ihmiskeskeiset hyödyt.</p> <p>Älykkään talotekniikan hyödyt on esitetty edellä mainittujen näkökulmien lisäksi rakennustyyppikohtaisesti. Rakennustyyppit ovat seuraavat: toimistorakennukset, sairaalat, koulut, kauppakeskukset ja asuinrakennukset. Älykkään talotekniikan todetaan olevan hyödyllistä yleisesti ja kaikissa mainituissa rakennustyypeissä. Älykkään talotekniikan hyötyjen todentamista käsitellään hyötyjen kartoituksen yhteydessä.</p> <p>Diplomityön osana on toteutettu pilottitutkimus, joka käsittelee ihmiskeskeisen valaistuksen vaikutusta ihmisen vireystasoon ja sen todentamista. Pilottitutkimuksen tarkoitus on selvittää EEG-analyysin soveltuvuus vireystason nousun todentajana. Kaksi koehenkilöä altistetaan kahdelle erilaiselle valaistustilanteelle yhteensä kahdeksana aamuna/aamupäivänä toimisto-olosuhteita simuloivissa laboratorio-olosuhteissa. Ihmiskeskeisen valaisimen spektrissä on piikki sinisen valon aallonpituuden 465 nm kohdalla. Vertailukohtana toimivasta valaisimesta piikki puuttuu. Hypoteesi on, että 465 nm valo vaikuttaa koehenkilöihin virkistävästi. Koehenkilöille tehdään EEG-analyysi sen todentamiseksi. EEG-analyysin vertailukohtana on väsymystason itsearviointi ”Karolinska Sleepiness Scale”-metodia hyödyntäen.</p> <p>Pilottitutkimus antaa arvokasta tietoa, miten jatkossa mahdollinen lisätutkimus tulisi toteuttaa. Jatkotutkimuksen on oltava laajempi, koehenkilöitä ja tutkimusaamuja on oltava useampia. Koehenkilöitä pitää ohjeistaa tarkemmin mahdollisten häiriötekijöiden eliminoinimiseksi. Lisäksi koehenkilöt on voitava sitouttaa tutkimukseen ja sen käytäntöihin. Edellä mainittujen tulee toteutua, jotta tutkimuksesta saisi valideja tuloksia.</p>		
Päivämäärä: 18.2.2019	Kieli: suomi	Sivumäärä: 63+12
Avainsanat: älykäs talotekniikka, älyrakennus, ihmiskeskeinen valaistus, EEG-analyysi		

AALTO UNIVERSITY SCHOOLS OF TECHNOLOGY PO Box 11000, 00076 AALTO. http://www.aalto.fi		Abstract of the Master's Thesis	
Author: Laura Remes			
Title: The benefits of the intelligent building technology and human centric lighting and how to verify them			
School: School of Electrical Engineering (ELEC)			
Department: Automation and electrical engineering (AEE)			
Major name: Translational Engineering		Major code: ELEC3023	
Supervisor: PoP Jaakko Ketomäki		Instructor: Lic.Sc. Mika Maaspuro	
<p>The topic of this thesis is the benefits of the intelligent building technology and lighting and how to verify them. This Master's thesis contains a literature review and a case study. The objective is to indicate the benefits from three different points of view. The points of view are economical, ecological and human centric.</p> <p>On top of the view points mentioned above, the benefits of the intelligent building technology are presented according to building types. The types are: offices, hospitals, schools, shopping malls and residential buildings. The benefits are discovered to be relevant both in general and by the building types. Verification of the benefits is discussed with the presented benefits.</p> <p>The case study, presented as a part of this Master's thesis considers an increase in alertness by human centric lighting and its verification. The purpose of the case study is to investigate the applicability of EEG-analysis as a method of verifying the increase in alertness. Two test volunteers are exposed to two different lighting conditions in total eight separate mornings/forenoons. The tests are conducted in a laboratory, which simulates typical office environment. The human centric light has a spike in a blue light district, 465 nm. The spike is missing from the reference light. The hypothesis is that 465 nm causes an increase in alertness for the test volunteers. For the verification of it, EEG-analysis is conducted of the test volunteers. "Karolinska Sleepiness Scale"-method is used as a self-assessment method as a reference for the EEG-analysis.</p> <p>The case study offers valuable information on how to conduct the possible additional research of this topic. The additional research should be more extensive, it should have several test volunteers and test mornings. Test volunteers should be instructed more specifically to eliminate possible distractions. Furthermore, test volunteers should be committed to the research and its practice. All of the above should be realized in order to get valid results from the research.</p>			
Date: 18.2.2019	Language: Finnish	Number of pages: 63+12	
Keywords: intelligent building technology, human centric lighting, EEG-analysis			

Alkusanat

Alkukipinä älykästä talotekniikkaa ja ihmiskeskeistä valaistusta kohtaan syntyi tehdessäni kandidaatintyötäni, joka käsitteli älyratkaisuja toimisto-olosuhteissa. Nautin kandidaatintyöni tekemisestä niin paljon, että se määräsi maisteriopintojeni suunnan alunperin suunnittelemastani poikkeavalle tielle. Onneksi kandidaatintutkintoni opinnot kuitenkin tukivat älykkääseen talotekniikkaan ja valaistukseen suuntautumistani. Diplomityöaihetta miettiessäni haaveilin älykkääseen valaistukseen liittyvästä työstä. En kuitenkaan halunnut sulkea älykästä talotekniikkaa sen ulkopuolelle. Onnekseni minulle tarjoutui mahdollisuus yhdistää työssäni molemmat aspektit. Tässä on sen tulos.

Kiitän diplomityöni valvojana toiminutta Jaakko Ketomäkeä Aalto-yliopistosta minulle tarjoutuneesta mahdollisuudesta olla keskeisessä roolissa ihmiskeskeiseen valaistukseen liittyvässä pilottitutkimuksessa. Minun pääasiallista työtäni oli huolehtia pilottitutkimuksen konkreettisesta tutkimussuunnitelmasta, aikatauluista, koehenkilöistä, tutkimuskaavakkeesta, laboratoriomittauksista, KSS-analyysistä ja lopullisista yhteenvedoista. Alkuperäinen, varsinaisen tutkimussuunnitelman pohjana toiminut, tutkimussuunnitelma oli THL:n Timo Partosen käsialaa. Mittaukset toteutettiin Aalto-yliopiston käyttäytymistieteiden laboratoriossa, Espoossa. Niissä minua auttoi kyseisestä laboratoriosta vastaava Veli-Matti Saarinen. Pilottitutkimuksen kannalta oleellisesta valaistuksesta, tutkimuskäytössä olleisiin valaisimiin liittyvästä tiedonjaosta ja havainnekuvista huolehtivat Timo Neuvonen ja Pauliina Oksanen KT interiorista. LEDit tarjosi ES Systems. EEG-datan käsittelystä kiitos kuuluu Toni Auraselle Aalto-yliopistosta. Kaikki edellä mainitut ansaitsevat kiitoksen. Pilottitutkimus toteutui heidän ansiostaan. Haluan kiittää myös diplomityöni ohjaajaa Mika Maaspuroa ja pilottitutkimukseen vapaaehtoisesti osallistuneita koehenkilöitä.

Espoo 18.2.2019

Laura Remes

Sisällysluettelo

Diplomityön tiivistelmä.....	2
Abstract of the Master's Thesis.....	3
Alkusanat.....	4
Sisällysluettelo.....	5
Merkinnät.....	6
Lyhenteet.....	7
Sanasto.....	9
1 Johdanto.....	10
2 Älykkään talotekniikan hyödyt.....	13
2.1 Älyrakennuksen määritelmä.....	13
2.2 Älykkään talotekniikan ekonomiset hyödyt.....	14
2.3 Älykkään talotekniikan ekologiset hyödyt.....	18
2.4 Älykkään talotekniikan ihmiskeskeiset hyödyt.....	19
3 Älykkään talotekniikan hyödyt rakennustyypeittäin.....	22
3.1 Toimistorakennukset.....	22
3.2 Sairaalat.....	29
3.3 Koulut.....	32
3.4 Kauppakeskukset.....	34
3.5 Asuinrakennukset.....	36
4 HCL-valaistuksen pilottitutkimus.....	38
4.1 HCL-valaistuksen pilottitutkimuksen taustatiedot.....	38
4.2 Tutkimusmenetelmät, -laitteisto ja käytännön toteutus.....	39
5 HCL-valaistuksen pilottitutkimuksen tulokset.....	52
5.1 KSS-tulokset.....	52
5.2 EEG-tulokset.....	54
6 HCL-valaistuksen pilottitutkimuksen tulosten käsittely, arviointi ja vertailu.....	57
7 Johtopäätökset.....	61
Lähdeluettelo.....	64
Liiteluettelo.....	72
Liitteet.....	73
Liite 1: Valaisimen Transparent 5837460 tekniset tiedot.....	73
Liite 2: Koehenkilö A:n EEG-spektrit sensoreittain.....	74
Liite 3: Koehenkilö B:n EEG-spektrit sensoreittain.....	75

Merkinnät

clo	Vaatekerroin (<i>engl.</i> clothing)
cm	Senttimetri, pituuden yksikkö ($10^{-1} m$, m pituuden perusyksikkö)
h	Korkeus
h	Tunti, ajan yksikkö ($1 h = 3600 s$, s ajan perusyksikkö)
Hz	Hertsi, taajuuden yksikkö
K	Kelvin, lämpötilan yksikkö
lm	Lumen, valovirran yksikkö
lm/W	<i>Kts.</i> Lm ja W, valovoiman yksikkö
lx	Luksi, valaistusvoimakkuuden yksikkö
met	Metabolinen ekvivalentti (<i>kts.</i> Sanasto; <i>engl.</i> Metabolic equivalent)
min	Minuutti, ajan yksikkö ($1 min = 60 s$, s ajan perusyksikkö)
r_s	Spearmanin järjestyskorrelaatiotekijä (<i>engl.</i> The Spearman rank-correlation coefficient)
V	Voltti, jännitteen yksikkö
W	Watti, tehon yksikkö
°C	Celsiusasteen yksikkö

Lyhenteet

AAC	Alfavaimennustekijä (<i>engl.</i> Alpha Attenuation Coefficients)
AC	Vaihtovirta, (<i>engl.</i> Alternating Current)
AHP	Analyttis-hierarkkinen prosessi (<i>engl.</i> Analytical Hierarchy Process)
CPT	Jatkuva-aikaisen suorituskvyn testi (<i>engl.</i> Continuous Performance Test)
CRI	Värintoistoindeksi (<i>engl.</i> Color Rendering Index)
DALI	DALI-standardi valaistusjärjestelmille (<i>engl.</i> Digital Addressable Lighting Interface)
EEG	Elektroenkefalografia, aivosähkökäyrätutkimus
engl.	Englanniksi (kieli)
Esim.	Esimerkiksi
HCL	Ihmiskeskeinen valaistus (<i>engl.</i> Human Centric Lighting)
IAQ	Sisäilmanlaatu (<i>engl.</i> Indoor Air Quality)
ICQ	Sisätilailmaston laatu (<i>engl.</i> Indoor Climate Quality)
IEC	Kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio (<i>engl.</i> International Electrotechnical Commission)
IEQ	Sisätilaympäristön laatu (<i>engl.</i> Indoor Environmental Quality)
IoT	Esineiden internet (<i>engl.</i> Internet of Things)
IP	Eurooppalainen luokitusjärjestelmä sähkölaitteiden ja laitekoteloiden tiiviydelle
ka	Keskiarvo
klo	Kellonaika
kts.	Katso
KSS	Karolinska-instituutin unisuuskaala (<i>engl.</i> Karolinska Sleepiness Scale)

KSS-J	Japanilainen versio KSS:stä (<i>engl.</i> Japanese version of Karolinska Sleepiness Scale)
LED	Valoa säteilevä puolijohdekomponentti (<i>engl.</i> Light-Emitting Diode)
LVIS	Lämpö-, vesi-, ilma- ja sähköjärjestelmät
PMMA	Läpinäkyvä kestopuovi, polymetyylimetyyliakrylaatti (<i>engl.</i> Polymethyl methacrylate)
SBS	Sairaalan rakennuksen syndrooma (<i>kts.</i> Sanasto; <i>engl.</i> Sick Building Syndrome)
SDCM	Väriyhdistelmän keskihajonta (<i>engl.</i> Standard Deviation of Color Matching)
SRI	Älyvalmiusindeksi (<i>engl.</i> Smart Readiness Index)
SSS	Stanfordin unisuusskaala (<i>engl.</i> Stanford Sleepiness Scale)
UGR	Yhtenäinen häikäisyuhde (<i>engl.</i> Unified Glare Rating)
VAS	Visuaalis-analoginen skaala (<i>engl.</i> Visual Analog Scale)

Sanasto

Akustinen yksityisyys (rakennetussa ympäristössä)	Kuvastaa äänieristyksen tasoa: kuinka hyvin yksityiset ja salassa pidettävät äänet pysyvät tilan sisäpuolella kantautumatta sen ulkopuolelle (esim. puhe, yrityssalaisuudet, jne.) [1].
EMC-suojahuone	Sellaisilta sähkömagneettisilta ilmiöiltä suojattu huone, jotka eivät ole hyötykäyttöön tarkoitettuja [2].
Fotosensitiivisyys	Herkkyys valolle [3].
Ihmiskeskeinen valaistus	Ihmisen hyvinvointia edistävä valaistus [4].
Inhibitorinen kapasiteetti	Estävä kapasiteetti [5], joka tässä tapauksessa tarkoittaa oppimisen kannalta hyödyllistä itsehillintäkykyä.
Metabolinen ekvivalentti	Aineenvaihduntanopeus suhteessa lepoaineenvaihduntaan [3].
Operatiivinen lämpötila	Kokonaislämpötila, jonka ihminen tuntee otettaessa huomioon ilman ja pintojen lämpötilan lisäksi myös ilman virtausnopeus [6].
Sairaan rakennuksen syndrooma	Sairaan rakennuksen syndrooma koostuu lukuisista erilaisista oireista, joita ilmenee rakennuksen käyttäjissä. Siihen liittyy sairauden tunne, joka laskee työntekijöiden tuottavuutta. Oireet eivät ole spesifejä. [7]
Suorituskyky	Yksilön kyky suorittaa erilaisia, henkisesti ja fyysisesti vaativia tehtäviä [8].
Älyrakennus	Älykästä talotekniikkaa hyödyntävä rakennus. [9]

1 Johdanto

Tämän diplomityön tavoitteena on kartoittaa älykkään talotekniikan ja ihmiskeskeisen valaistuksen hyötyjä ja niiden todentamista. Työ on jaettu kirjallisuuskatsaukseen ja kokeelliseen osioon. Kirjallisuuskatsauksessa älykkään talotekniikan hyödyt ovat pääroolissa. Ne on jaettuna kahteen osaan: hyötyjen yleiskatsaukseen ja hyötyihin rakennustyypeittäin. Hyötynäkökulmat on rajattu kolmeen eri aspektiin: ekonomisiin, ekologisiin ja ihmiskeskeisiin hyötyihin. Kyseisten hyötyjen kartoituksen yhteydessä käsitellään niiden todentamista. Hyötyjen todentaminen on sisällytetty diplomityöhön relevanteilta osin, ylimääräisten metodien jäädessä rajauksen ulkopuolelle. Työn kokeellisessa osiossa käsitellään HCL-valaistusta (*engl.* Human Centric Lighting) eli ihmiskeskeistä valaistusta. Muiden hyötyjen kokeellinen tutkimus rajattiin diplomityön ulkopuolelle.

Älykkään talotekniikan käytön on oltava hyödyllistä. Talotekniikkaa suunniteltaessa on otettava huomioon rakennuksen käyttötarkoitus ja sen käyttäjät [9, 10, 11]. Rakennuksen on palveltava käyttötarkoitustaan mahdollisimman hyvin [9, 11]. Rakennuksen ja sen talotekniikan on palveltava myös käyttäjiään, jotta se olisi riittävän houkutteleva kohde potentiaalisille vuokralaisille tai ostajille [9, 11, 12]. Rakennuttajia ja rakennuksen tulevia omistajia kiinnostaa rakennuksen taloudellinen tuotto suhteessa investointeihin [9, 13]. Tulevan talotekniikan valinta on siten taloudellinen kysymys [12]. Älykkään talotekniikan hyödyntäminen voi tuoda sen verran säästöjä ja nostaa tuottavuutta, että siihen sijoittaminen on kannattavaa [9, 14].

Uudet ympäristötavoitteet luovat sekä paineita että mahdollisuuksia älykkään talotekniikan käytölle [11, 12]. Rakennusta ja sen talotekniikkaa suunniteltaessa on huomioitava erilaiset ympäristökriteerit, joista osa on lain vaatimia [14, 15]. Sen lisäksi on olemassa erilaisia suosituksia ja tavoitteita [12]. Kiinnostus erilaisia ympäristöluokituksia kohtaan on lisääntymässä [17]. Esimerkiksi tällä hetkellä EU:ssa on valmisteilla SRI-indeksi (*engl.* Smart

Readiness Indicator), joka kuvastaa rakennuksen älyvalmiutta. SRI:ssä korostuvat ekologiset arvot energian kulutuksen osalta. Keskiössä on talotekniikan älykkyys, joten älykkään talotekniikan käyttö parantaa pisteytystä. Näillä näkymin vuonna 2020 astuu voimaan suositus ilmoittaa rakennuksen SRI-lukema. [18] Älykkään talotekniikan hyödyntäminen on ekologisista ja imagosyistä kannattavaa [11, 12].

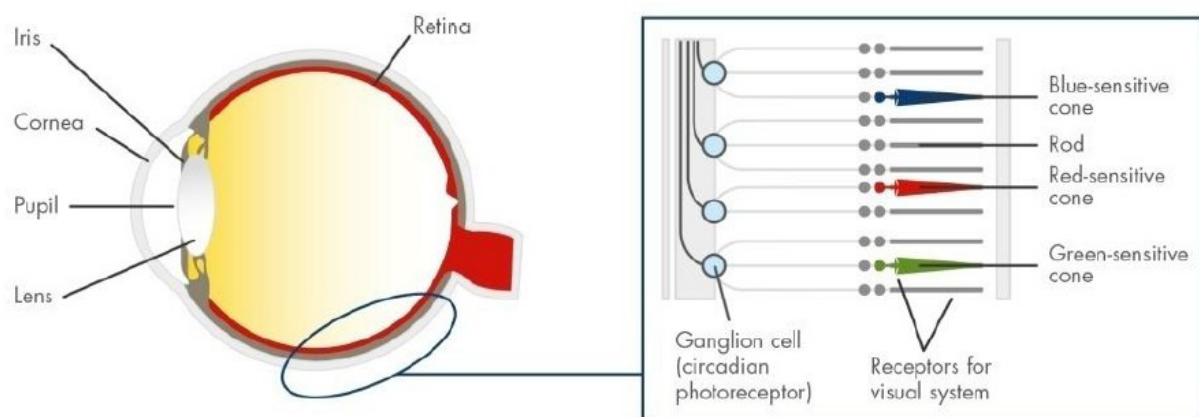
SRI-indeksi kuvastaa nimenomaan rakennuksen älyvalmiutta, joten se on selkeä kannuste älykkään talotekniikan käyttöön. Edellä mainitun energia-aspektin lisäksi SRI-luokituksen arvioinnissa otetaan huomioon, kuinka hyvin rakennus palvelee käyttäjiään. Siinä korostuvat talotekniikan joustavuus ja mukautuvuus eri tilanteisiin ja olosuhteisiin. Tekoälyn hyödyntäminen talotekniikassa nostaa SRI-luokitustasoa merkittävästi. SRI-indeksin tarkoituksena on herättää rakennusten omistajien ja käyttäjien kiinnostus älykkään talotekniikan käyttöä kohtaan. [18]

Vallalla oleva nopea kaupungistuminen mahdollistaa älykkään talotekniikan käyttöönoton laaja-alaisesti ja tehokkaasti [11, 14]. Nykyisin jo yli puolet maailman väestöstä asuu kaupungeissa [19]. Suuri ja tiheä älykästä talotekniikkaa hyödyntävien rakennusten (älyrakennus) verkosto mahdollistaa uusien ominaisuuksien ja palvelujen käyttöönoton. [20] [11, 14, 19] Sillä voidaan lisätä rakennusten käyttäjien tyytyväisyyttä, mikä nostaa rakennusten arvoa [9, 11, 14, 20]. Täten älykkääseen rakennustekniikkaan tehdyt sijoitukset ovat kannattavia korkeamman tuoton ansiosta [20].

Älykäs talotekniikka hyödyttää ihmisiä [9, 11]. Sen avulla voidaan parantaa ihmisten hyvinvointia ja jopa terveyttä [9, 11, 12]. Hyvinvointi ja terveys auttavat jaksamaan töissä ja olemaan aktiivinen osa yhteiskuntaa [21]. Älykkään talotekniikan ja etenkin ihmiskeskeisen valaistuksen avulla voidaan myös nostaa ihmisten vireystasoa, parantaa suorituskyykyä ja tehokkuutta [22, 23, 24]. Yritystoiminta on siten kannattavaa ja yhteiskunta toimii niin, että voidaan paremmin ylläpitää nykyistä hyvinvointiyhteiskuntaamme. Älykäs talotekniikka parantaa elämänlaatua myös vapaa-ajalla [9, 11]. Sen avulla voi vapautua rutiineista työpaikkojen lisäksi myös kotioiloissa. Se lisää ihmisten vapaa-aikaa, mitä arvostetaan yhä enenevässä määrin [25]. Vapaa-ajan arvostus on kasvamassa ja yleistymässä [26]. Älykäs talotekniikka auttaa siinä ja tuo siten lisäarvoa elämään.

Tämän työn osana oleva pienimuotoinen pilottitutkimus käsittelee ihmiskeskeistä valaistusta ja sen hyötyjen todentamista. Pilottitutkimuksessa käytetty ihmiskeskeinen valaistus (HCL) on tietylle valon aallonpituudelle spektriinkin tuottavilla sinisillä LEDeillä (*engl.* Light-Emitting Diode) rikastettu valkoinen valo. Verrokkina toimi tavallinen valkoinen valaistus. Valaisimet ja niiden valolle altistettujen koehenkilöiden tutkimustilanteet olivat identtiset valosta riippumatta, jotta nimenomaan sinisten LEDien vaikutusta voitiin tutkia. Kyseiset LEDit tuottavat valon spektriin piikin 467 nm kohdalla.

Aallonpituudeltaan 467 nm valo vaikuttaa ihmiseen virkistävästi. Ihmissilmässä on melanopsiinia sisältäviä gangliosoluja (*Kuva 1*) [27]. Ne ovat herkkiä valolle ja eritoten 467 nm spektrikomponentille. Kyseinen aallonpituus vapauttaa melanopsiinia gangliosoluista. Sitä kautta melanopsiini vaikuttaa melatoniinin määrään veressä. Melatoniini on unihormoni. Unihormonin poistuessa verestä, ihminen piristyy. Täten ihmisen vireystasoa voidaan säädellä 467 nm valoaltistuksella. [27] Tässä työssä käsiteltävä pilottitutkimus keskittyy kyseiseen ilmiöön ja siihen, miten kyseinen vaikutus voitaisiin laboratorio-olosuhteissa todentaa. Tarkoitus on testata EEG-analyysin käyttömahdollisuuksia tämän tyyppisessä tutkimuksessa.



Kuva 1: Ihmisen silmä ja siellä olevat melanopsiinia sisältävät gangliosolut (*engl.* ganglion cell).

2 Älykkään talotekniikan hyödyt

2.1 Älyrakennuksen määritelmä

Älykästä talotekniikkaa hyödyntävää rakennusta kutsutaan älyrakennukseksi [9]. Jotta rakennusta voisi kutsua älyrakennukseksi, on sen täytettävä tiettyjä kriteerejä. [20] Niihin kuuluu mm. reaaliaikainen reagointi ja vuorovaikutussuhde käyttäjän kanssa teknisten ja energiajärjestelmien kanssa [9, 11, 14, 20]. Älyrakennuksessa käyttöliittymien pitää olla nimenomaan käyttäjälähtöisiä [9, 11]. Älykkääseen talotekniikkaan kuuluu oleellisena osana myös käyttäjälähtöiset palvelut ja ominaisuudet [9, 11, 20]. Älyrakennuksen pitää myös olla vuorovaikutuksessa muun rakennetun ympäristön kanssa [9, 11]. Niistä kun on tarkoituksena koostaa kokonainen älykäs kaupunkiympäristö, jonka avulla mahdollistuu laaja-alainen datan hyödyntäminen myös yksittäisiä rakennuksia hyödyttävällä tavalla. [9, 14, 20]

Käyttäjälähtöisen älyrakennuksen määritelmillä on neljä niille yhteistä tekijää, vaikka maailmanlaajuisesti ne ovatkin muutoin erilaisia. Nämä päätekijät ovat rakenteet ja rakennusosat, talotekniset järjestelmät, rakennuksen palvelut ja rakennuksen hallinnointi. [20] Niiden kaikkien täytyy palvella älykkäästi, energia- ja ekotehokkaasti omistajan ja käyttäjän tarpeita [9, 11, 14, 20]. Rakenteiden ja rakennusosien kohdalla tämä tarkoittaa mm. muuntojoustoisuutta ja riittäviä talotekniikkareittejä [20]. Talotekniset järjestelmät kattavat LVIS:n (lämpö-, vesi-, ilma- ja sähköjärjestelmät) ja valaistuksen rakennusautomaation lisäksi [11, 20]. Toimistoautomaatio puolestaan kuuluu osaksi rakennuksen palveluja turvallisuusasioiden ja eri viestintätapojen (audio-, data- ja video-) lisäksi. Energiaan, käyttöön, kunnossapitoon, talouteen, informaatioon ja kaikkien edellä mainittujen hallintaan liittyvät asiat kuuluvat viimeiseen neljännekseen eli rakennuksen hallinnointiin. [20]

2.2 Älykkään talotekniikan ekonomiset hyödyt

Älykkään talotekniikan käyttö ja lisääminen on yhtä kuin rakennuksen laadukkuuden kasvu [9, 14, 28]. Laadukkuudessa on monia eri segmenttejä [28]. Niitä ovat tekninen, funktionaalinen, ekologinen, ekonominen, kulttuurillinen ja sosiaalinen laadukkuus [14, 28]. Jokainen niistä kattaa laajasti eri ominaisuuksia. Teknilliseen laadukkuuteen kuuluu erilaiset turvallisuuselementit, muuntojoustoisuus, kestävyys eri uhkien varalta ja muokattavuus, hävitys mukaan lukien. Funktionaalisuus puolestaan liittyy tehokkaaseen tilan käyttöön ja siihen, kuinka hyvin rakennus palvelee tarkoitustaan. [28] Ekologiseen laadukkuuteen kuuluu energian säästö, veden ja maan käyttö, päästörajoitukset, jätteiden käsittely ym. ympäristövaikutukset [14, 28]. Ekonomisessa laadukkuudessa keskitytään sen sijaan elinkaarikustannuksiin ja rakennuksen markkina-arvoon, joka määräytyy seuraavasti:

$$\text{Markkina} - \text{arvo} = \frac{\text{Toiminnan nettotulot}}{\text{aktivointikurssi}}.$$

Toiminnan nettotulot saadaan vähentämällä ylläpitokustannukset vuokratuloista. Aktivointikurssi puolestaan koostuu riskittömästä kurssista, arvon noususta ja laskusta. [28] Ekologisuuden ja ekonomisuuden välille pitää löytää tasapaino. Se voi olla haastavaa eri intressien riidellessä keskenään. Niiden hyötyjen yhdistämisessä älykäs talotekniikka on avuksi. Esimerkiksi energiaa säästämällä tulevat molemmat aspektit huomioiduiksi positiivisella tavalla. Kulttuurilliseen ja sosiaaliseen laadukkuuteen kuuluu nimensä mukaisten seikkojen lisäksi terveys ja hyvinvointi, turvallisuus, mukavuus, kokemus kyvystä vaikuttaa ympäristöönsä, osallisuus, sisustuksellisuus ja esteettisyys [14, 28].

Huono sisätilailmaston laatu ICQ (*engl.* Indoor Climate Quality) voi aiheuttaa merkittäviä ylimääräisiä kuluja seuraaville tahoille: yksityishenkilöille, työnantajille, kiinteistöjen yksityis- ja yritysomistajille sekä yhteiskunnalle. Kustannusten kasvu johtuu produktiivisuuden heikkenemisen lisäksi työntekijöiden sairastelusta. [8] Erityisesti Suomessa tällä on negatiivinen vaikutus työnantajapuolen lisäksi yhteiskunnan talouteen. Meillä kun on julkinen terveydenhoito, joka kustannetaan verovaroin. Nousevat kustannukset lisäävät painetta verojen korotukselle, mikä puolestaan heikentää yritysten tuottavuutta. Huonokuntoiset työntekijät voivat myös aiheuttaa laitevahinkoja heikentyneestä

suorituskyvystä johtuen [8]. Suorituskyky voi heiketä esimerkiksi sairastamisen tai pelkän väsymyksen seurauksena.

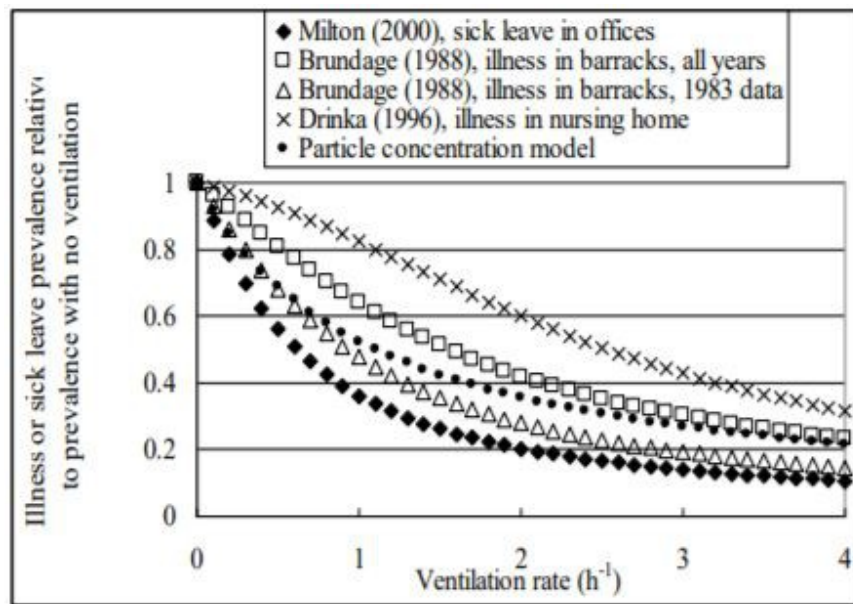
Korkea sisätilaympäristön laatu IEQ (*engl.* Indoor Environment Quality) lisää ihmisten tuottavuutta ja siitä on siten myös taloudellista hyötyä [13, 14]. Tuottavuuden kasvu tulee mm. seuraavista seikoista: parempi suorituskyky, vähemmän sairauspoissaoloja ja vähemmän tyytymättömyyttä. [13] Tuottavuutta voidaan mitata seuraavasti [13]:

$$\text{Tuottavuus} = \frac{\text{anto}}{\text{syöttö}} = \frac{\text{työsuoritus}}{\text{sijoitus ja käyttökustannukset}}.$$

Taloudellisessa mielessä esimerkiksi sairauspoissaolot tulevat kalliiksi, koska palkkakustannukset ovat huomattavasti energia- ja järjestelmäkustannuksia suuremmat (*Taulukko 1*) [28]. Ylipäättään palkkakustannukset ovat energia- ja järjestelmäkustannuksia moninkertaisesti suuremmat toimistorakennuksissa (*Taulukko 1*) [8]. Niiden vähentäminen lisää siten taloudellista hyötyä. Siihen voidaan vaikuttaa mm. tuuletuksella (*Kuva 2*) [13]. Korkea IEQ lisää myös rakennuksen arvoa, jolloin siitä voidaan periä korkeampaa vuokraa tai saada korkeaa myyntivoittoa. Tällöin taloudellinen tuotto kasvaa suhteessa sijoitukseen. [13] Myöskään älykkään rakennustekniikan käytöstä seuraavaa imagovaikutusta rakennuttajalle ja rakennuksen omistajalle ei pidä unohtaa. [13, 14]

Taulukko 1: Työskentelytilojen kustannuskertoimet.

Kustannukset	Kerroin
Energia	1
Järjestelmä	10
Palkka	100

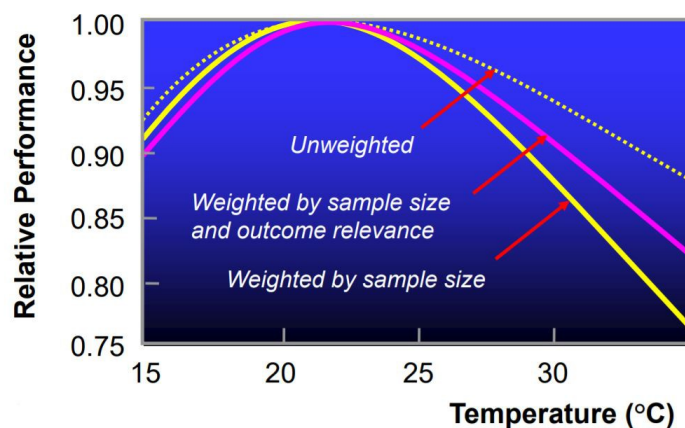


Kuva 2: Sairauspoissaolojen määrän suhde tuuletusilman nopeuteen.

Sisätilojen lämpötilalla on suuri merkitys ihmisen tehtävistä suoriutumiseen ja siten tuottavuuden kannalta (Kuva 3) [28]. Sopivan lämpötilan ylläpito älykkään rakennustekniikan avulla on siinä mielessä taloudellisesti kannattavaa toimintaa. [14, 28] Keskimääräiset optimaaliset lämpötilat vaihtelevat jonkin verran rakennustyyteittäin. Lämpötilan liukuman suuruus on kääntäen verrannollinen suhteessa laatuluokkaan, kun laatua kuvataan pienenevällä asteikolla A – C (Taulukko 2). [29] Myös ulkolämpötilalla on vaikutusta siihen, millainen lämpötila koetaan kulloinkin miellyttäväksi tai sopivaksi [30, 31].

Talviaikaan ihmiset sopeutuvat kylmään ulkoilmaan niin hyvin, että viihtyvät myös sisätiloissa kesäaikaa viileämmissä olosuhteissa. Korkeat sisälämpötilat ovat sopeutuman vastaisia, joten ne tuntuvat epämiellyttäviltä. Kesäaikaan korkea sisälämpötila koetaan talviaikaa miellyttävämmäksi, koska ulkonakin on lämmin ja ihmisten sen hetkinen lämpötilasopeutuma on sen mukainen. [31] Ero on selkeä B. Caon, Y Zhun, ym. vuonna 2011 julkaiseman tutkimuksen mukaan (Taulukko 3) [31]. Heidän tutkimuksessaan kartoitettiin opiskelijoiden ja toimistotyöläisten tyytyväisyyttä sisätilojen lämpötilaan kesä- ja talviaikaan. Tutkimus toteutettiin Pekingissä. [31] Koska ulkolämpötila vaikuttaa miellyttäväksi koettuun sisälämpötilaan, sopivan sisälämpötilan asettamiseksi tarvitaan tieto ulkolämpötilasta. Tämä on tärkeää etenkin pohjoismaissa, joissa vuodenaikojen vaihtelu aiheuttaa suuria ulkolämpötilaeroja. Sisälämpötilan pitäminen miellyttäväksi koetulla tasolla vaatisi jatkuvaa

ulkolämpötilan seuranta ja sisälämpötilan sopeuttamista sen mukaiseksi reaaliaikaisesti. Se olisi toteutettavissa nimenomaan älykkään talotekniikan avulla IoT:tä (engl. Internet of Things) hyödyntäen. [9, 14]



Kuva 3: Suhteellinen suorituskky verrattuna lämpötilaan.

Taulukko 2: Laadukkuudeltaan eri taseisia lämpötilaliukumia eri rakennustyyeissä.

Rakennus-/tilatyyp	Vaatekerroin, talvi (clo)	Aktiivisuus-taso (met)	Sisätila-ympäristön kategoria	Operatiivinen lämpötila, talvi (°C)
Toimisto	1,0	1,2	A	21,0 – 23,0
			B	20,0 – 24,0
			C	19,0 – 25,0
Avotoimisto	1,0	1,2	A	21,0 – 23,0
			B	20,0 – 24,0
			C	19,0 – 25,0
Kahvila, ravintola	1,0	1,2	A	21,0 – 23,0
			B	20,0 – 24,0
			C	19,0 – 25,0
Ostoskeskus	1,0	1,6	A	17,5 – 20,5
			B	16,0 – 22,0
			C	15,0 – 23,0
Yksityisasunto	1,0	1,2	A	21,0 – 23,0
			B	20,0 – 24,0
			C	19,0 – 25,0

Taulukko 3: Miellyttäväksi koetut sisätilojen lämpötilat vuodenaikojen mukaan.

Vuodenaika	Lämpötila (°C)		
	Minimi	Maksimi	Keskiarvo
Kesä	18,4	30,0	25,1
Talvi	16,9	27,6	21,6

Älykkääseen talotekniikkaan sijoittaminen maksaa itsensä nopeasti takaisin ja sen käyttö tuo jatkuvaa säästöä. Energiansäästö ja rakennuksen operointikustannusten väheneminen mahdollistavat 1 – 2 vuoden takaisinmaksuajan investoinneille. Älyrakennuksen automaatiojärjestelmien käytön edullisuus verrattuna perinteiseen rakennusautomaatioon tuo jatkuvia säästöjä koko rakennuksen käytön ajan suhteessa tavanomaisiin rakennuksiin. [32] Älykkäät automaatiojärjestelmät myös ennakoivat vikoja ja häiriöitä niin, että niihin osataan ajoissa varautua [9, 32]. Täten mahdolliset ilmenevät viat saadaan korjattua ennen niiden päätymistä kriittiseen tilaan. Se pienentää korjauskustannuksia ja täten vähentää rakennuksen hallintakuluja entisestään. [32]

2.3 Älykkään talotekniikan ekologiset hyödyt

Älykkään talotekniikan lisääntyvälle käytölle on yhteiskunnallista painetta ja yhä enenevässä määrin edellytyksiä [11, 14]. Uudet ympäristötavoitteet velvoittavat myös rakennusalaan ottamaan entistä enemmän ekologisuus huomioon ratkaisuisaan, mm. energiatehokkuuden ja vähäpäästöisyyden osalta [20, 32]. Myös uusiutuvan energian käyttöä jatkuvasti lisätään [20]. Painetta ekologisten ratkaisujen käyttöön lisää vihreiden arvojen korostuminen väestön keskuudessa [11, 20]. Niiden käytön on kuitenkin oltava myös taloudellisesti kannattavaa, koska ekonomiset seikat yleensä ajavat ekologisten edelle [34].

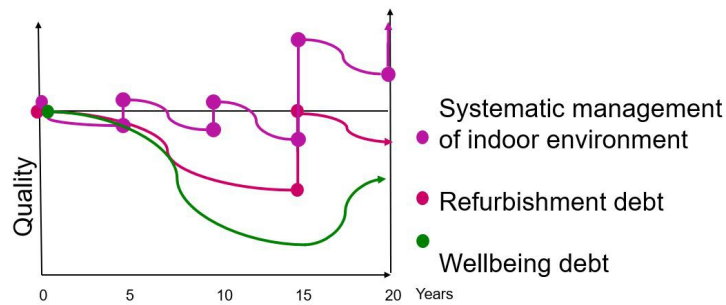
Ekologisista ratkaisuista puhuttaessa nousee energiankulutus ja mahdollisuudet sen vähentämiselle keskeisimpään rooliin. Energiankulutuksen vähentäminen on myös älykkään talotekniikan käytössä keskeisimmässä asemassa. [32, 35] Älykkään talotekniikan avulla voidaan optimoida energiankulutus niin, että energiaa käytetään vain silloin kun sille on aktuaalinen tarve. Monitorointi puolestaan auttaa tunnistamaan todelliset tarpeet. Älykkäät talotekniset järjestelmät voivat ajaa alas turhaan energiaa kuluttavia tekijöitä silloin kun niille ei ole tarvetta. Täten ylimääräistä energiaa säästyy. Kyseessä on siten ympäristöystävällinen toiminnallisuus. [9, 32, 35]

Älykkään talotekniikan avulla voidaan pidentää rakennuksen elinkaarta ja lyhentää rakennuksen elinkaari vaikutusta. Älykkään talotekniikan avulla voidaan rakennukseen luoda älyvalmiutta ja muuntojoustoisuutta tulevaisuutta varten. Täten sama rakennus voi palvella muussa tarkoituksessa alkuperäisen tarpeen päätyttyä. Siten rakennusta ei tarvitse purkaa, eikä uutta rakentaa tilalle. Lisäksi älykkääseen talotekniikkaan ja sen suunnitteluun liittyvät erilaisten ympäristövaikutusten simulointimahdollisuudet ennen rakennustöiden aloitusta. Täten erilaiset ja yllättävätkin ympäristövaikutukset voidaan erikseen huomioida ja haitat minimoida. [9, 36]

2.4 Älykkään talotekniikan ihmiskeskeiset hyödyt

Älykkäällä talotekniikalla voidaan vaikuttaa sisätilaolosuhteisiin, mikä lisää ihmisten hyvinvointia, heidän tuottavuuttaan ja siten myös taloudellista hyötyä [9, 11, 14, 28]. Sisätilaolosuhteiden laiminlyöminen heikentää niissä oleskelevien ihmisten hyvinvointia etenkin pitkällä aikavälillä (*Kuva 4*). Niitä voidaan parantaa remontoimalla. Se on kuitenkin vain väliaikainen ratkaisu, joka johtaa myöhemmin taas hyvinvoinnin heikkenemiseen (*Kuva 4*). Mikäli ihmisten hyvinvointi halutaan pitää jatkuvasti vähintään tyydyttävällä tasolla, on sisätilaolosuhteita hallittava systemaattisesti (*Kuva 4*). [9, 28] Siinä älykäs talotekniikka astuu kuvaan mukaan [9, 11, 14, 28].

Indoor Environment and Wellbeing Debt



Kuva 4: Sisätilaolosuhteet ja hyvinvointivelka. Violetti = Sisätilaolosuhteiden systemaattinen hallinta; Pinkki = Remontointivelka; Vihreä = Hyvinvointivelka.

Sisätilaolosuhteiden laadukkuutta kuvataan IEQ:lla (*engl.* Indoor Environment Quality). Sen suuruutta voidaan arvioida erikseen sekä rakennuksen suunnittelu- että käyttövaiheessa. Rakennuksen suunnitteluvaiheessa IEQ:ta mitataan simuloimalla sen eri ominaisuuksia, mm. lämpömukavuutta, sisäilmanlaatua ja valaistusta. Simulaatiotuloksia voidaan arvioiduttaa rakennuksen potentiaalisilla käyttäjillä. Rakennuksen aktuaaliset käyttäjät ovat keskeisessä asemassa arvioidessaan jo olemassa olevaa IEQ:ta. Ihmiskeskeinen arviointi tehdään erilaisten kyselykaavakkeiden avulla, joilla tiedustellaan rakennuksen eri tekijöiden vaikutusta tyytyväisyyteen. Kyseisiin tekijöihin kuuluvat mm. edellä mainitut lämpömukavuus, sisäilmanlaatu ja valaistus. Lisäksi niillä selvitetään rakennuksen potentiaalisia terveysvaikutuksia, mikä on oleellinen tekijä sisätilaolosuhteiden laadussa. [37]

Laadultaan huonot sisätilaolosuhteet vaikuttavat haitallisesti ihmisten terveyteen. Esimerkiksi kehon stressitasoa nostavat mm. seuraavat asiat: liian korkeat tai matalat lämpötilat, vetoisuus, huono ilmanlaatu, jatkuva korkea melutaso ja liian kirkas tai hämärä valaistus. Korkeasta stressitasosta johtuen voi ilmetä seuraavanlaisia terveysongelmia: keskittymiskyvyn puutetta, muisti-, uni- ja ruuansulatushäiriöitä. [28] Huono sisäilmanlaatu IAQ (*engl.* Indoor Air Quality) voi aiheuttaa hengitystie- ja verenkiertoelimistön sairauksia, allergiaa, silmien, nenän ja kurkun ärsytystä. Ihmisillä kun ei ole riittävää immuniteettia kaikkia hengittämiämme partikkeleita vastaan. Pahimmillaan ne voi johtaa jopa syöpään, joten on erittäin tärkeää huolehtia sisäilman laadusta rakennuksissa. [37] Hyvästä IAQ:sta on siis merkittävää terveydellistä hyötyä sen suojatessa ihmisiä erilaisilta sairauksilta [11].

Älykäs talotekniikka on ihmiskeskeisiltä hyödyiltään jotain paljon enemmän kuin vain toimivat LVIS-järjestelmät ja valaistus [9, 11, 20]. Älyrakennus on ikään kuin ihmisten jatke ja heidän persoonallisuuksien ilmentymä. Se kuvastaa myös ihmisten älykkyyttä ja kuinka siitä voidaan hyötyä. Älykkään talotekniikan avulla voidaan korvata ihmisten toimintoja, koska rakennuksen tekniikka voi hoitaa joitain asioita automaattisesti ilman ihmisen apua. [9, 20] Älyrakennus voi myös palvella ihmistä esimerkiksi tekemällä tarvehankintojen tilauksia automaattisesti [38]. Ihmiskeskeisten hyötyjen ollessa ainakin osittain rakennuskohtaisia ja kokonaisuutena hyvin laaja teema, keskitytään seuraavassa luvussa älykkään talotekniikan hyötyihin rakennuskohtaisesti.

3 Älykkään talotekniikan hyödyt rakennustyypeittäin

3.1 Toimistorakennukset

Toimistorakennusten funktio on tukea työn tekoa ja edistää tuottavuutta, missä älykäs talotekniikka on suureksi avuksi. Älykkäällä talotekniikalla voidaan parantaa työskentelyolosuhteita, parantaa työntekijöiden olotilaa, tukea yhteistyötä ja lisätä motivaatiota ainakin välillisesti. [9, 14] Työympäristö, joka tukee työn tekoa, nostaa työntekijöiden tuottavuutta työtuntia kohden [13, 14]. Älykäs työympäristö myös tukee työntekijöiden terveyttä [9, 14], jolloin jaksetaan paremmin ja sairauspoissaolot vähenevät. Kaikki nämä seikat nostavat rakennuksessa tehdyn työn taloudellista tuottavuutta suhteessa kustannuksiin etenkin kun palkkakustannukset ovat rakennusten suurin kuluerä (*Taulukko 1*) [13]. Hyvää työtulosta tuottavan toimistorakennuksen tilojen vuokraus on yrityksille kannattavaa, joten kyseisen rakennuksen arvo kasvaa samassa suhteessa. Täten älykästä talotekniikkaa sisältävien toimistorakennusten rakennuttaminen ja omistaminen on taloudellisesti tuottavaa toimintaa. [9, 14]

D. Clements-Croomen ja L. Baizhanin tutkimuksen perusteella toimistotyöntekijöiden tuottavuutta voidaan parantaa 4 – 10 % parantamalla sisätilaolosuhteita. He käyttivät produktiivisuuden mittarina OSI:a (*engl.* Occupational Stress Indicator). [39] Se kuvastaa työntekijöiden tyytyväisyyttä työhönsä. Sillä on hyväksyttävä kelpoisuus kolmella eri osa-alueella neljästä: työtyytyväisyys, mielenterveys ja tyypin A käytös. Tyypin A käytökseen kuuluu oleellisena osana ongelmanratkaisulähtöinen käytös. Tyypin A käytökseen kuuluu aktiivisuus ja oma-aloitteisuus stressaavissa tilanteissa. B tyypin käytös puolestaan on passiivista, muihin tukeutuvaa ja siitä puuttuu ratkaisukeskeinen oma-aloitteisuus ongelmatilanteissa. [40] A tyypin käytös on siten työelämälähtöistä käyttäytymistä, toisin kuin B tyypin käytös. Ainoastaan yksi osa-alue (*engl.* locus of control eli valvontapaikka) OSI:ssa vaatii kehittämistä [41]. Sen voidaan siten olettaa olevan suhteellisen pätevä tapa indikoimaan

produktiivisuutta. D. Clements-Croome ja L. Baizhanin tutkimuksessa käytetty OSI on asteikko, joka pohjautuu työntekijöille tehtyihin kyselyihin ja heidän lausuntoihinsa. Yleensä asteikossa käytetään viisi, seitsemän tai yhdeksän pistettä. Se ottaa huomioon sekä yksittäisten työntekijöiden että työntekijäjoukkojen tyytyväisyyden. [39]

D. Clements-Croome ja L. Baizhan tutkivat ja analysoivat OSI:a sekä yksilöiden että joukkojen osalta erilaisissa toimisto-olosuhteissa yhdessä toimistossa Readingissa, Englannissa, vuonna 1996. Muokattavissa olevat toimisto-olosuhdetekijät olivat seuraavat: lämpötila, ilmanvaihto, ilmankosteus, sisäilmanlaatu, valaistus, meluisuus ja tilojen ahtaus. [39] He analysoivat kyselykaavakkeista saamiaan tietoja käyttämällä analyttistä hierarkiaprosessia AHP (*engl.* Analytical Hierarchy Process), joka perustuu matematiikkaan ja psykologiaan [39, 42]. Siinä on yhdeksän pisteen skaala yksityiskohtaisine kyselykaavakkeineen yleisten haastattelujen lisäksi. Kyselykaavakkeiden avulla selvitettiin seuraavia asioita:

- Tutkittavissa olevan organisaation ja työpaikan taustatiedot;
- Tyytymättömyyden määrä ympäristöä ja työtä kohtaan;
- Koehenkilöiden tuntemukset nykyistä työtilannettaan kohtaan;
- Tilojen käyttäjien terveydentilaan liittyvien oireiden aiheuttajien päätekijät;
- Tekijät, jotka vaikuttavat työhön liittyvään tyytyväisyyteen ja tuottavuuteen.

Yleisillä haastatteluilla selvitettiin tarkempia yksityiskohtia vastausten taustatekijöistä. AHP mahdollistaa monimutkaisten järjestelmien analysoimisen, koska se ottaa huomioon eri elementtien interaktion toistensa kanssa. Siinä voi olla useita eri hierarkiatasoja. Tässä tapauksessa kuitenkin käytettiin vain seuraavaa viittä: produktiivisuus, inhimilliset tekijät, järjestelmätekijät, terveystekijät ja ympäristötekijät. [39]

D. Clements-Croome ja L. Baizhan käyttivät minkä tahansa kahden eri tekijän keskinäistä suhdetta kuvaamaan r_s :ää (*engl.* The Spearman rank-correlation coefficient). Sen perusteella he huomasivat merkittävän järjestyskorrelaation (*engl.* rank-correlation) produktiivisuuden itseanalyysin ja kolmen seuraavan tekijän välillä: työympäristön, työhön tyytymättömyyden ja

työstressin välillä (*Taulukko 4*). Työympäristötyytyväisyyteen vaikuttavat lukuisat erilaiset tekijät:

- Henkilökohtainen terveys ($r = 0,34$);
- SBS-oireet (*engl.* Sick Building Syndrome symptoms, $r = 0,35$);
- Visuaaliset ja auditiiviset ongelmat ($r = 0,36$);
- Lämpötilaan liittyvät ongelmat ($r = 0,49$);
- Työtilan ahtaus ($r = 0,50$).

Kyseiset korrelaatiokertoimet ovat tilastollisesti merkittäviä, koska $p < 0,01$. D. Clements-Croomen ja L. Baizhanin tutkimuksen mukaan tyytymättömyydellä sisätilaolosuhteisiin on positiivinen korrelaatio sen kanssa, että on tyytymätön työhönsä. [39]

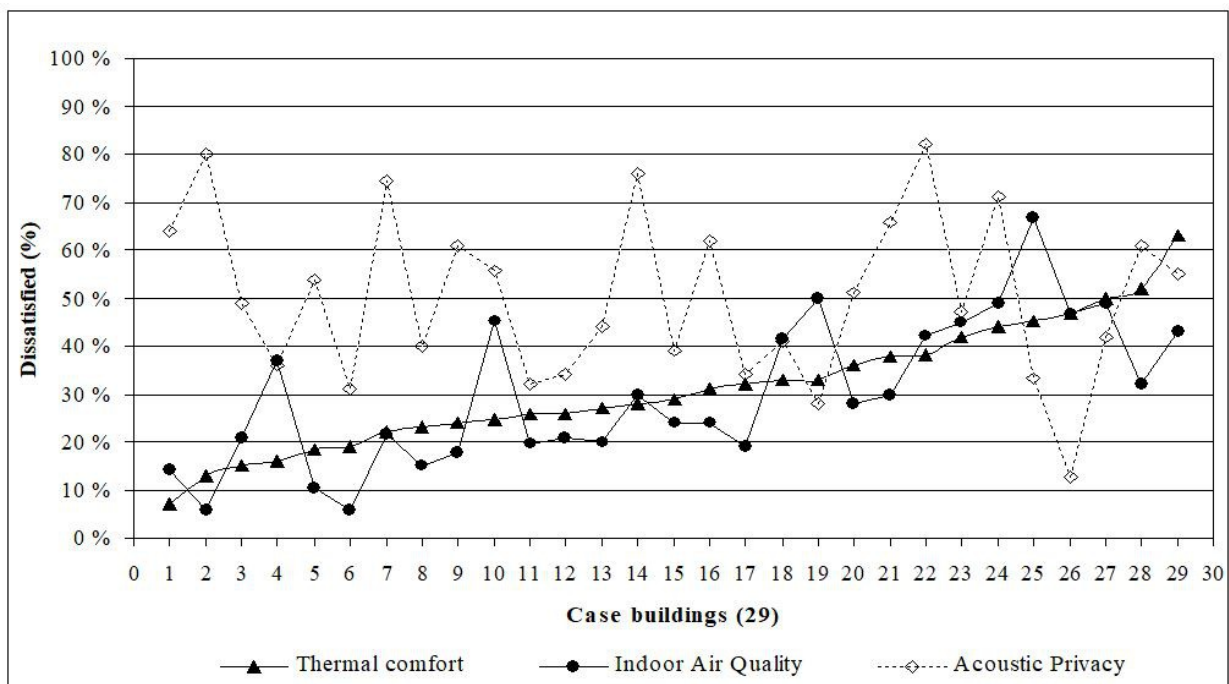
Taulukko 4: *Itsearvioidun produktiivisuuden, ympäristön ja työtekijöiden keskinäiset assosiaatiot.*

Tekijä	Assosioitu tekijä	r_s
Itsearvioitu produktiivisuus	Epättydyttävä sisätilaympäristö	-0,49
	Tyytymättömyys työhön	-0,36
	Työstressi	-0,21
Epättydyttävä sisätilaympäristö	Työstressi	+0,31
	Tyytymättömyys työhön	+0,43
Työstressi	Tyytymättömyys työhön	+0,36

Älykkään talotekniikan avulla voidaan parantaa visuaalisia ja auditiivisia olosuhteita ja vähentää lämpötilaan liittyviä ongelmia [9, 14, 39]. Etenkin lämpötilan vaikutus työpaikalla viihtymiseen on suuri ($r = 0,49$), joten älykkäälle talotekniikalle on tarvetta sen säädön osalta. Myöskään visuaalisia ja auditiivisia ongelmia ei pidä vähätellä ($r = 0,36$), koska myös niiden osalta sisätilaympäristön muokkaaminen parantaa toimistotyöntekijöiden tyytyväisyyttä ja siten produktiivisuutta. Visuaalisuuden osalta ihmiskeskeinen valaistus parantaa sisätilaolosuhteita. Myös SBS-oireita voidaan vähentää älykkään talotekniikan avulla. [39]

D. Clements-Croomen ja L. Baizhanin tutkimuksessa käytettyjen kyselykaavakkeiden perusteella 2/3 työntekijöistä koki tuotteliaisuutensa (produktiivisuus) voivan kasvaa jopa 10 % toimisto-olosuhteita parantamalla. D. Clements-Croomen ja L. Baizhan. Heidän tekemät analyysit tukivat tätä 10 % produktiivisuuden kasvua. [39] 10 % kasvu on todella merkittävä, koska jo 1 % kasvu työntekijöiden produktiivisuudessa on taloudellisessa mielessä perusteltavissa [8]. Tätä tukee palkkakustannusten suuruus suhteessa muihin toimistorakennuksen kustannuksiin (*Taulukko 1*) [8]. Readingin toimistossa produktiivisuuden kasvu oli vähintään 4 % [39], joten sen voi todeta olleen taloudellisesti kannattavaa.

Toimistorakennuksissa tyytymättömyys sisätilaolosuhteisiin on hyvin yleistä (*Kuva 5*) [28], joten älykkäälle talotekniikalle on niissä tilausta. Tyytymättömyyttä esiintyy eniten sisäilmanlaatua, pysäköinti- (tässä tapauksessa pysäköintihallit) ja siivouspalvelua kohtaan. Älykkäät talotekniset ratkaisut ovat niiden osalta erityisen toivottuja. Yksilöllisten preferenssien huomioimista älyratkaisuissa pidetään tärkeänä kuitenkin niin, että hyvä tietoturva taataan. Yksilöiden seurantaan perustuvan teknologian käytön hyväksyttävyys riippuu kohderyhmän ikäjakaumasta. [43]



Kuva 5: Käyttäjien tyytymättömyys sisätilaolosuhteisiin (lämpötila, sisäilmanlaatu ja akustinen yksityisyys (kts. Sanasto)) 29:ssä suomalaisessa toimistorakennuksessa.

Toimistorakennusten sisätilaympäristön laatua (IEQ) voidaan testata reaaliaikaisesti simuloiduissa elävissä laboratorio-olosuhteissa. Se mahdollistaa sisätilaolosuhteiden optimoinnin mahdollisimman miellyttäväksi niiden käyttäjien kannalta. A. Jamrozik, C. Ramos, ym. loivat vuonna 2018 julkaisemaansa tutkimusta varten kuusi erilaista toimistotyöskentelyyn tarkoitettua sisätilaympäristöä laboratorio-olosuhteisiin. Yksi niistä vastasi tyypillisiä toimisto-olosuhteita toimien referenssinä viidelle muulle sisätilaympäristölle. Huoneissa oli toisistaan poikkeavat olosuhteet. Ne olivat erilaisia akustiikan, valaistuksen ja lämmityksen kombinaatioita. Tutkimuksessa todettiin sisätilaympäristön vaikuttavan tutkimushuoneessa oleskellein koehenkilöiden yleiseen ympäristötyytyväisyyteen ja työpäiväkokemukseen. Niiden vaikutus jatkui myös laboratoriossa oleskelun jälkeenkin. Tämä näkyi erilaisten tunne- ja terveysvaikutusten muodossa. Tunteista mainittakoon mieliala ja terveysvaikutuksista unihäiriöt. Kyseisen tutkimuksen perusteella elävät laboratoriot ovat tehokas keino älyrakennusratkaisujen ihmiskeskeisten hyötyjen todentamiseen. [44]

Ekologiselta kannalta tarkasteltuna toimistorakennuksen ovat ongelmallisia niiden suhteellisen pienen käyttöasteen vuoksi, mihin älykäs talotekniikka tarjoaa myös taloudellisesti kannattavia ratkaisuja [14]. Toimistorakennuksissa oleskellaan pääsääntöisesti aikavälillä klo: 8.00-17.00 (tyypillinen toimisto-aika), joka on vain reilu kolmannes vuorokauden tunteista. Toimistorakennukset ovat siten ns. tyhjäkäynnillä lähes 2/3 vuorokaudesta. Tämä tuottaa suuria ylimääräisiä kuluja etenkin lämmityksen ja ilmanvaihdon osalta [14]. Turhaan päällä oleva lämmitys ja ilmanvaihto on myös epäekologista [14], koska se kasvattaa turhia päästöjä.

Älykkään talotekniikan avulla lämmitys voidaan automatisoida todellisen tarpeen ja rakennuksen aktuaalisen käyttöasteen mukaan ajoitetusti. Siten säästetään sekä luontoa että varoja. Toimistorakennukset voidaan pitää kylminä yöaikaan niin, että lämpötilaa nostetaan sopivasti juuri ennen ensimmäisten työntekijöiden saapumista aamulla. Tähän voidaan liittää oppiva järjestelmä, joka osaa ennakoida työntekijöiden töihin saapumisajan ja sen, mitkä tilat ovat aamutunteina käytössä. Kaikkia tiloja ei täten tarvitse lämmittää samanaikaisesti. Vastaavasti lämpötilaa voidaan laskea työntekijöiden poistuessa sisätiloista. [9, 14, 43]

Älykästä talotekniikkaa ja siihen liittyviä oppivia järjestelmiä voidaan hyödyntää myös ilmanvaihtojärjestelmissä siten, että happipitoista ilmaa ohjataan eri tiloihin todellisen tarpeen mukaan. Toimistorakennusten eri tilojen käyttöaste vaihtelee päivän mittaan tai jopa pidemmällä aikavälillä. Esimerkiksi osaa neuvotteluhuoneista ei käytetä kuin satunnaisesti ja paljon varsinaisen työpaikkansa ulkopuolella työskentelevien työntekijöiden työhuoneet ovat usein tyhjillään. Tyhjillään oleviin huoneisiin on turha ajaa happipitoista ilmaa. Sitä tarvitaan normaalia enemmän ruuhkautuneissa tiloissa, joihin sitä voidaan älykkään talotekniikan avulla ohjata todellisen tarpeen mukaan. [14, 43]

Älykkääseen talotekniikkaan kuuluu keskeisenä osana oppivat järjestelmät, jotka mahdollistavat työntekijöiden liikkumisen ennustamisen sisätiloissa. Sitä edesauttaa ihmisille tyypillinen tavoista kiinni pitäminen. Sillä tavoin esimerkiksi happipitoista ilmaa tai valoa voidaan ohjata sinne, missä niitä milloinkin todellisuudessa tarvitaan, tarkemmin kuin tavanomaista rakennusautomaatiota käyttäen. [9, 14, 45] Siihen riittää suhteellisen yksinkertaiset algoritmit, joilla ennustuksia tehdään. Se ei siinä mielessä edes vaadi suurta taloudellista satsausta, vaikka opetus onkin aikaa vievää. J. Petzold, F. Bagci, ym. saivat hyviä tuloksia liikkumisen ennustamisen suhteen opetetulla järjestelmällä vuoden 2014 julkaisunsa perusteella (*Kuva 6*). [45]

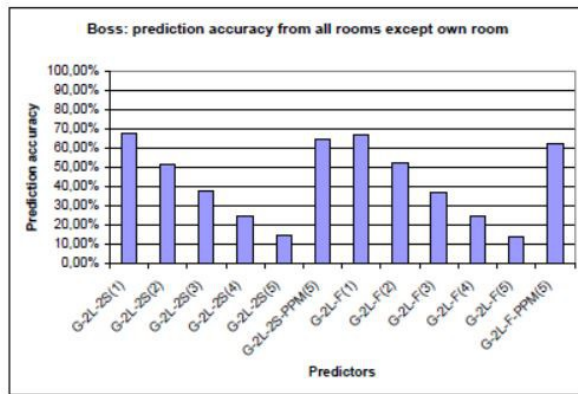


Figure 6. Prediction accuracy of boss' movement

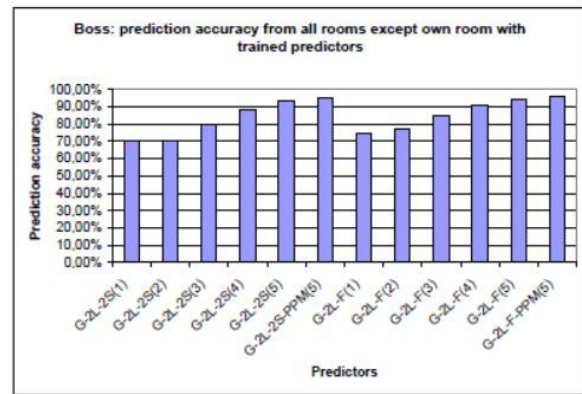


Figure 8. Prediction accuracy of boss' movement using trained predictors

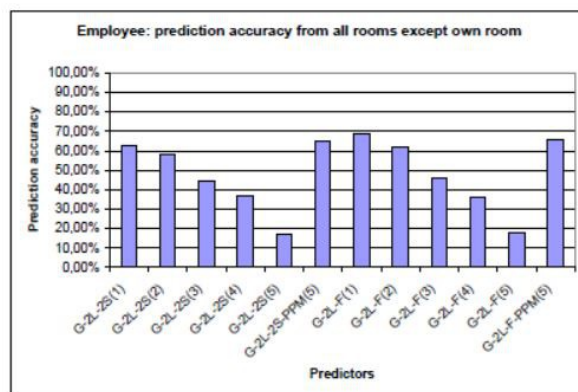


Figure 7. Prediction accuracy of employee's movement

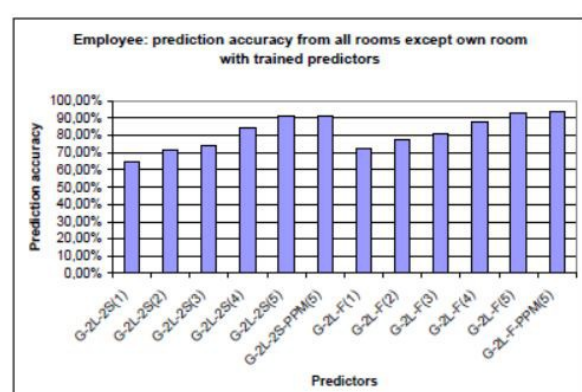


Figure 9. Prediction accuracy of employee's movement using trained predictors

Kuva 6: Vasemmalla johtajan ja työntekijöiden liikkumisen ennusteiden tarkkuudet ja oikealla opetetun järjestelmän vastaavat ennusteiden tarkkuudet.

Liikkumista helpottaakseen toimistorakennusten työntekijät toivovat uudenlaisia ja miellyttävämpiä ratkaisuja avainten ja kulkulupien manuaalisten käyttöliittymien tilalle. Ohjelmoitavat avaimet lisäävät käyttömukavuutta. Ne myös helpottavat kulkuoikeuksien lisäämistä ja poistoa helposti tehtävien muutoksien ansiosta. Se on myös edullinen ja luontoa säästävä ratkaisu, koska avaimia ei tarvitse uusia, vaan pelkkä uudelleen ohjelmointi riittää. Positiivisena lisänä työntekijöille ohjelmoitavien avaimien käytössä on se, että niillä on mahdollista maksaa työpaikkaruokailunsa niiden henkilökohtaisen tunnisteen ansiosta. Myös työnantajat hyötyvät ohjelmoitavista avaimista. Niihin kun voi helposti liittää työajanseurantapalvelun, jolloin erillistä tuntien kirjaamista ei tarvita, vaan pelkkä kulku työpaikalle ja sieltä pois riittää. [43]

Kuvalliset henkilökortit koetaan esteettisesti epämiellyttäviksi ja epäkäytännöllisiksi. Niiden tilalle voitaisiin luoda esimerkiksi korutyyppejä älykstä tekniikkaa sisältäviä henkilötunnisteita. [43] Niihin voitaisiin edellä mainittujen kulkulupien lisäksi liittää biometriikkaa. Täten toimistohenkilökunnan vointia voitaisiin seurata reaaliaikaisesti ja älykäs talotekniikka voisi sopeuttaa sisätilaympäristön työntekijöiden hyvinvointia parhaiten kulloinkin tukevaksi. Tällöin toimistohenkilökunnan hyvinvointi ja siten myös tuottavuus kasvaisi. Siitä olisi työnantajalle taloudellista hyötyä. [9, 43]

Joissain toimistorakennuksissa on otettu käyttöön virtuaalinen vastaanottopalvelu. Se mahdollistaa ihmisettömän aulapalvelun, mikä tuo taloudellista säästöä aulapalveluhenkilöstötarpeen vähetessä. [43] Virtuaalisten vastaanottopalvelujen lisäksi tai niiden ohkeen voisi liittää älypuhelinsovelluspohjaisen suunnistusavun [9, 43]. Sen tyyppinen karttapalvelu nimeltään ”AaltoSpace” on käytössä Aalto-yliopistossa. Siihen on yhdistetty huoneiden varauspalvelu, joka helpottaa työskentelytilojen jakamista ja estää päällekkäiset huonevaraukset [46]. Vastaavanlaisesta ratkaisusta voisi olla hyötyä myös toimistorakennuksissa [9, 43]. Ainakin siihen löytyy todella paljon kiinnostusta toimistohenkilökunnan taholta. Noin 80 % kannattaa kyseistä ehdotusta älypuhelinsovelluksen suuremman käyttömukavuuden vuoksi verrattuna selainpohjaisiin vastaaviin ratkaisuihin. [43] Huonevarauksien yhteyteen voitaisiin liittää mahdolliset ruoka- ja virvoketilaukset [9, 43]. Se helpottaisi ja selkeyttäisi niiden tekemistä [43]. Tilauksetkin kulkisivat sen avulla automaattisesti niille tarkoitettuihin tiloihin.

3.2 Sairaalat

Sairaalat ovat toimistorakennuksista poikkeavia työtiloja siinä mielessä, että niissä on huomioitava sekä vuorotyöläisten että potilaiden tarpeet. Ne ovat teknisesti huomattavasti haastavampia kuin tavanomaisessa toimistotyöskentelyssä. Älykkään talotekniikan käyttö on siten sairaaloissa erittäin hyödyllistä [9]. Terveiden ylläpitäminen ja parantaminen on sairaaloissa prioriteetti numero yksi. Se koskee sekä potilaita heidän tilansa vuoksi että hoitohenkilökuntaa heidän jaksamisensa vuoksi.

Potilaat ovat muuta väestöä heikommassa kunnossa ja heillä on huomattavasti enemmän erityistarpeita. Heidän olosuhteistaan on siten huolehdittava erityisen tarkasti ja kaikin tavoin pyrittävä parantamaan niitä. Lääketieteellisten laitteistojen lisäksi myös taloteknisillä laitteistoilla on vaikutusta potilaiden terveydentilaan. Vaikutukset sen osalta kun näkyvät selvästi ja huonosti toimivat tai vanhentuneet laitteistot voivat jopa vaarantaa ihmishenkiä. Esimerkiksi huono sisäilmanlaatu voi olla kohtalokas joillekin potilaille, koska he ovat jo valmiiksi heikossa kunnossa [37]. Älykäs talotekniikka parantaa ympäristön positiivista vaikutusta ja voi siten jopa pelastaa ihmishenkiä. Se myös edistää parantumista välillisesti monin eri tavoin [9].

Hoitohenkilökunnan terveydestä ja jaksamisesta huolehtiminen on haastavampaa kuin toimistohenkilökunnan, jolloin myös sairaalan on taivuttava heidän tarpeisiinsa toimistorakennusta enemmän. Hoitohenkilökunnalla on jokapäiväisessä työssään riskitekijänä altistuminen erilaisille sairauksille, koska ovat jatkuvasti tekemisissä potilaiden kanssa tai ainakin kulkevat samoissa tiloissa. Sisäilmanlaadun on siten oltava riittävän laadukas, jotta sairauksien leviäminen estyy. Ilmanvaihto ja sen älykäs ohjaus on siinä keskeisessä asemassa. Toisena suurena riskitekijänä hoitohenkilökunnan terveyden osalta on vuorotyö. Vuorotyö on tutkitusti riskitekijä hoitohenkilökunnan hyvinvoinnille ja terveydelle [47]. Etenkin yövuorot ovat haasteellisia, joten niissä jaksamiseen on panostettava. Ihmiskeskeinen valaistus helpottaa yövuoroilla jaksamista [48].

Hoitajien keskuudessa väsymys työvuoron aikana on yleistä. Se on vaaraa aiheuttava tekijä hoitajille ja heidän hoidossaan oleville potilaille. Väsymystason mittaaminen onkin täten tärkeää sekä terveys- että turvallisuussyistä. KSS-metodia käytetään yleensä hetkellisen väsymystason kartoittamisessa. J. Brown, M. Wieroney, ym. totesivat vuonna 2013 tutkiessaan ensihoitajien väsymystasoja, että uneliaisuus on voimakkainta yövuorojen aikana. Vähäisintä väsymys oli niillä päivävuoroja tekevillä hoitajilla, joilla oli biologista alttiutta aamuvireyteen. Työvuoroilla oli kuitenkin kronotyypiltään enemmän ilta- kuin aamuvireitä hoitajia. Keskiarvollisesti korkean väsymystason (KSS 7 – 9) alueella työskentelevät hoitajat kattoivat 21,3 % vuoroista. Hetkellisesti korkeaa väsymystasoa koettiin 44,3 % vuoroista.

Erilaiset unihäiriöt korreloivat korkeiden väsymystasojen kanssa. Niiden esiintyminen kolminkertaisti korkeiden väsymystasojen todennäköisyyden. [47]

T. Askaripoorin, M. Motamedzaden, ym. vuonna 2018 julkaisemassa tutkimuksessa todettiin valolla voivan vaikuttaa lounaan jälkeiseen väsymykseen sitä vähentävästi [22]. Lounaan jälkeen on tyypillistä kokea päiväaikaista väsymystä, joka heikentää ihmisen henkistä ja fyysistä suorituskkyä merkittävästi [49]. Siihen voi vaikuttaa ja tilannetta helpottaa ihmiskeskeisellä valaistuksella. T. Askaripoorin, M. Motamedzaden, ym. vuonna 2018 julkaiseman tutkimuksen mukaan ihmisen vireystasoon ja mentaaliseen performanssiin voidaan vaikuttaa punaisten ja sinisten ledien avulla. Heidän tutkimukseensa osallistui 20 tervettä koehenkilöä. Heidät altistettiin neljälle erilaiselle valaistustilanteelle: sinisillä LEDeillä rikastettu valkoinen valo (12 000 K), punaisilla LEDeillä rikastettu valkoinen valo (2 700 K), tavallinen valkoinen valo (4 000 K) ja hämärä valo. Kolmen ensimmäisen valaistustilanteen valaistusvoimakkuus oli 500 lx, mutta hämärän valaistustilanteen valaistusvoimakkuus oli vain < 5 lx. Jokaiseen eri valaistustilanteeseen liittyi suorituskyyvyn testaus CPT (*engl.* Continuous Performance Test) ja elektroenkefalografia eli aivosähkökäyrätutkimus (EEG). Mitattavia tekijöitä olivat subjektiivinen väsymys, mieliala ja suorituskky. Suorituskyyvyn eri osa-alueet olivat työmuisti, keskittymiskyyvyn jakautuminen ja inhibitorinen kapasiteetti (*kts.* Sanasto). Kyseisen tutkimuksen mukaan vireystason nousu näkyi EEG:ssä etenkin fyysisen suorituskyyvyn osalta sinisten ja punaisten ledien tapauksessa. [22] Näiden avulla voidaan parantaa sairaalan henkilökunnan ja jopa potilaiden jaksamista.

Yövuoroissa koetaan väsymystä muita vuoroja enemmän, olipa kyseessä keskiarvollinen tai hetkellinen väsymystaso. Väsymyspiikki on aikavälillä klo: 4:00 – 5:00 vuorotyöntekijöiden keskuudessa ($P < .0001$). Kronotyypin ei vaikuta yövuorojen aikaan väsymykseen. Yövuorojen peräkkäisellä määrällä sen sijaan on vaikutusta. Ensimmäisen ja toisen yövuoron välillä ei ole väsymystason kannalta merkittävää eroa. Kolmannen peräkkäisen yövuoron aikana uneliaisuus on kuitenkin huomattavasti suurempaa. Kyseessä on todennäköisesti univelan kumulatiivinen vaikutus. [47]

Koska yövuoroissa koetaan eniten väsymystä [47], olisi juuri yövuorojen aikana työskentelevän hoitohenkilökunnan työolosuhteita parannettava mahdollisimman paljon. Jo

pienelläkin parannuksella voi olla suuri merkitys. Yövuoro-olosuhteita voidaan parhaiten parantaa ihmiskeskeisen valaistuksen avulla. Ihmiskeskeisessä valaistuksessa otetaan huomioon valon biologiset vaikutukset [50]. M. Motamedzadeh, R. Golmohammadi, ym. käsittelivät vuonna 2017 julkaistussa tutkimuksessaan nimenomaan sinisillä LEDeillä rikastetun valkoisen valon vaikutusta yövuorolaisten suorituskykyyn ja unisuustasoon. Heidän tutkimukseensa osallistui 30 koehenkilöä. Heidät altistettiin kahdelle erilaiselle valaistustilanteelle viikon ajan kummallekin. Tutkimuksessa käytetyt metodit olivat subjektiivinen väsymystason arviointi KSS (Karolinska Sleepiness Scale) ja suorituskykytesti CPT-II (Conners' Continuous Performance Test II). M. Motamedzadehin, R. Golmohammadin, ym. tutkimuksessa todettiin sinisillä LEDeillä rikastetun valkoisen valon vähentävän ja pienentävän seuraavia häirittejä: työmuistin virheet ja työtehtävien laiminlyönnit. Lisäksi kyseisenlainen valaistus nopeutti reaktioaikaa käsillä olevaan tehtävään. [23] Kaikki edellä mainitut sinisillä LEDeillä rikastetun valot edut ovat hyödyllisiä sairaalan hoitohenkilökunnan työstä suoriutumiselle, mikä siten parantaa myös potilasturvaa merkittävästi.

3.3 Koulut

Koulujen erityisryhmänä on lapset. Lasten tarpeet eroavat aikuisten tarpeista ja ovat hyvin pitkälti ikäriippuvaisia etenkin väsymyskaaren osalta. Koulu on myös vaativa ympäristö siinä mielessä, että siellä on tarkoituksena oppia ja kehittää kognitiivisia kykyjä sen lisäksi että kouluympäristön pitää tukea oppilaiden hyvinvointia ja terveyttä. Kehittyvät aivot tarvitsevat oppimista tukevan ympäristön ilman ylimääräisiä häiriötekijöitä. Älykäs talotekniikka soveltuukin hyvin kouluympäristöön, sillä sitä voidaan hyödyntää siellä hyvin monin eri tavoin.

Kouluikäisten lasten väsymyspiikki on klo: 12:30 [50]. Kyseessä on jo edellä mainittu (**Kappale 3.2 Sairaalat**) lounaan jälkeinen väsymys. Kyseistä väsymyspiikkiä ja sen negatiivisia vaikutuksia vireystasoon ja suorituskykyyn voidaan vähentää sinisillä ja punaisilla LEDeillä rikastetulla valolla. [22] H. Baek ja BK. Min julkaisivat vuonna 2015

tutkimuksen, jossa perehdyttiin syvemmin nimenomaan sinisillä LEDeillä rikastetun valkoisen valon vaikutukseen. Heidänkin tutkimuksessaan oli 20 koehenkilöä, CPT ja EEG-mittaus [24], kuten T. Askaripoorin, M. Motamedzaden, ym. vuonna 2018 julkaisemassa tutkimuksessa [22].

H. Baekin ja BK. Minin tutkimuksen neljä eri valaistustilannetta kuitenkin poikkesivat T. Askaripoorin, M. Motamedzaden, ym. tutkimusasetelmasta [22, 24]. H. Baekin ja BK. Minin tutkimuksen neljä eri valaistustilannetta olivat seuraavat: valkoinen polykromaattinen valo, 66 %:sti sinisillä LEDeillä rikastettu valkoinen valo, 33 %:sti sinisillä LEDeillä rikastettu valkoinen valo ja pimeä valaistustilanne ($< 0,3 \text{ lx}$). Heidän tutkimuksensa mukaan altistus siniselle valolle lounastauon jälkeen vähensi huomattavasti alfa-aktiivisuutta EEG:n perusteella. [24]

Alfa-aallot (8 – 12 Hz) liittyvät uneen johtavaan rauhallisuuteen [51]. Niiden korkea esiintyminen päivään häiritsee keskittymiskykyä. Se saa myös tuntemaan voimattomuutta väsymyksen tunteen lisääntyessä. [52] Lisäksi H. Baek ja BK. Min totesivat tutkimuksensa perusteella suorituskyvyn paranevan sen ansiosta, että valkoista valoa oli rikastettu sinisillä LEDeillä. Se todettiin suorituskyyä mittaavilla testeillä. Testeihin osallistui 20 tervettä koehenkilöä. [24] Sinisillä LEDeillä rikastettu valkoinen valo parantaisi siten myös koululaisten oppimistuloksia tehtävien suoritustason kohentuessa.

Koulupäivän aikana 8–10-vuotiaat lapset ovat väsyneimpiä ($P \leq .02$) ja heidän väsymystasonsa kasvaa voimakkaimmin päivän aikana ($P < .0001$) [50]. Se on huolestuttavaa, sillä luku- ja laskutaidon perusteita vahvistetaan tuon ikäisenä. Kyseiset taidot kun ovat tärkeitä kaikissa jatko-opinnoissa, olipa kyseessä yläkoulu tai toisen asteen koulutus. Ihmiskeskeisellä valaistuksella voidaan helpottaa pienten lasten päivän aikaista väsymystä, jolloin koulutyöskentely tehostuu ja levottomuus luokissa vähenee [24]. Oppimiskyky nimittäin heikkenee väsymystason kasvaessa. Levoton käytös koululuokissa puolestaan on häiriötekijä, joka haittaa keskittymistä oleelliseen. Sekin siten heikentää oppimiskykyä. [53] Älykkään talotekniikan ja ihmiskeskeisen valaistuksen avulla voidaan siis parantaa oppimistuloksia.

Sellaisten lasten osalta, joiden kohdalla ei voida käyttää sanalliseen arviointiin perustuvaa metodologia väsymystason selvittämiseen, voitaisiin käyttää piirroshahmoihin perustuvaa kyselykaavaketta [54]. Tällaisia lapsia ovat Suomessa vielä monet ekaluokkalaiset, jotka vasta opettelevat lukemaan. Piirroshahmoihin perustuvan kyselykaavakkeen ovat luoneet C. Maldonado, A. Bentley, ym. Witwatersrandin yliopistossa vuonna 2014 [54]. Siinä piirroshahmoina käytettiin kasvoja. He käyttivät Thurstonen mittakaavamenetelmää, jotta voivat eliminoida kahdet kasvot muuttaessaan asteikkonsa intervalliskaalaksi. Jäljelle jäi vain viisi eri väsymystasoa. Kasvot vastasivat seuraavia metodeja: KSS ($P < .05$), SSS ($P < .04$) ja VAS ($P < .0001$). [54]

Piirroshahmoihin perustuvan väsymystasoskaalan ansiosta lukutaito- ja muut kielirajoitukset eivät estä tutkimusta tällä saralla. Kyseinen metodi helpottaa myös valinnan vaikeutta sillä, että kasvopiirroksissa on vain viisi eri vaihtoehtoa. Sen ansiosta lasten (ikä ≥ 4 v.), ymmärrystasoltaan ja kognitiivisesti osittain rajoittuneiden henkilöiden tutkiminen on mahdollista. Piirroshahmojen käytössä kielieroilla ei ole merkitystä. Menetelmä on siten universaali. Metodiin ei vaikuta kipu, vihaisuus eikä iloisuus. Siinä mielessä se on luotettava tapa tutkia subjektiivisesti koettua väsymystasoa. Muihin verrattuna tämän metodin haittapuolena on vaihtoehtojen määrän vähäisyys. [54]

3.4 Kauppakeskukset

Kauppakeskuksissa korostuu taloudellinen hyöty, mutta yhä enenevässä määrin myös ns. vihreät arvot nostavat päätään sekä ulkoisen paineen että imagokysymyksen johdosta. Älykkään talotekniikan avulla voidaan luoda edeltäjiään ympäristöystävällisempiä kauppakeskuksia, jotka ovat myös taloudellisesti kannattavia [9, 32]. Kauppakeskuksissa voidaan olla ainakin osittain lämmittämättä tiloja niiden aukioloaikojen ulkopuolella. Lisäksi ilmanvaihtolaitteistot voidaan ajaa alas yön ajaksi niiltä osin, mitä tiloja ei käytetä. [55] Sekä lämmitys että ilmanvaihto ovat kauppakeskuksissa suuria kuluja kauppakeskuksille tyypillisen suuren neliömäärän vuoksi. Niiden sääteleminen älykkään talotekniikan avulla

saman tapaisesti kuin aiemmin mainittujen toimistorakennusten kohdalla, tuo mittavia taloudellisia säästöjä. [32, 56] Lisäksi se on hyvä teko luonnon kannalta eli vihreät arvot toteutuvat älykästä talotekniikkaa hyödynnettäessä [9].

Kauppakeskusten koosta johtuva suuri sähkönkulutus mahdollistaa sen, että kauppakeskukset voivat toimia kantaverkon tasaajina etenkin silloin kun niillä on omat akut käytössä.

Kauppakeskus voi silloin ladata akkunsa täyteen sähkön hinnan ollessa alhaalla, kuten yöaikaan. Sähkön hinnan ollessa ylhäällä, kauppakeskus voi hyödyntää varastoimaansa sähköä. Kauppakeskus voi myös ottaa vastaan sähköä silloin kun siitä on ylitarjontaa ja myydä varastoimaansa alitarjonnan aikana tasapainottaen täten sähköverkkoa. Se on myös taloudellisesti kannattavaa toimintaa kauppakeskuksille niiden suuren sähkön kulutuksen vuoksi. Silloin kun sähköä joutuu ostamaan suuria määriä, pienikin alennus kWh-hinnassa merkitsee paljon kokonaiskulutusta tarkasteltaessa. Kauppakeskuksilla on myös mahdollista olla omaa sähkön tuotantoa esim. aurinkopaneelien tai pienien tuulivoimaloiden avulla. Tällöin kauppakeskus toimii myös sähkön tuottajana ja myyjänä tarjoten ylijäämää lähiympäristölle ja kantaverkkoon. [57]

Sen lisäksi, että älykäs rakennusautomaatio vähentää kuluja ja päästöjä, älykkäällä talotekniikalla voidaan luoda yhä miellyttävämpiä kauppakeskuskokemuksia niissä vieraileville henkilöille. Esimerkiksi erilaisiin kauppakeskus- tai ketjukohtaisiin älypuhelinsovelluksiin voidaan liittää henkilökohtainen profiili ja sisätilanavigaatio. [9, 58, 59] Se lisää sekä asiakasvierailuja että pidentää kauppakeskuksissa vietettyä asiakaskohtaista aikaa. Myös kanta-asiakkuus kasvaa [59]. Mitä enemmän väkeä kauppakeskuksessa on, sitä todennäköisemmin kauppakeskuksen vuokralaisten tulot myös kasvavat. Tämä lisää kauppakeskuksen markkina-arvoa, jolloin liiketilavuokran suuruutta voidaan kasvattaa [9]. Tällöin kauppakeskuksen omistajat tekevät voittoa sijoituksellaan.

3.5 Asuinrakennukset

Asuinrakennukset ovat niitä kohteita, joissa eniten voidaan hyödyntää käyttäjälähtöistä älykstä talotekniikkaa ja ihmiskeskeistä valaistusta [60]. Asuinrakennuksien yksittäisissä asunnoissa oleskelee pääsääntöisesti hyvin suppea joukko ihmisiä jo niiden rajallisen neliömäärän vuoksi. Tekoälyn on siten hyvin helppo oppia kaikkien asukkaiden henkilökohtaiset preferenssit ja sopeuttaa älykäs talotekniikka niiden mukaisiksi [9, 14]. Asuinrakennuksissa henkilökohtaiset preferenssit vieläpä korostuvat huomattavasti enemmän kuin julkisissa ja yhteiskäyttötiloissa. Asunnot koetaan henkilökohtaisiksi ja niiden halutaan palvelevan omia tarkoituksia lisäten eritoten asumismukavuutta. [60] Tietty ns. kodikkuuden tuntu on tärkeää viihtyvyyden kannalta. Asunnossa viihtyminen puolestaan on oleellista asukkaiden terveyden ja hyvinvoinnin kannalta [60]. Koti kun on paikka, jossa palaudutaan arjen toimista. Lisäksi siellä levätään ja nukutaan.

Älykkään talotekniikan avulla on mahdollista säätää sopiva sisälämpötila [9, 11], mikä on erityisen tärkeää Suomen olosuhteissa etenkin talviaikaan. Sukupuoli, ikä ja koko vaikuttavat kokemukseen sopivasta lämpötilasta, mikä voidaan ottaa älykkäässä talotekniikassa parhaiten huomioon asuinrakennusten kohdalla. Naiset ja iäkkäämmät ovat herkempiä kylmälle kuin miehet ja nuoret keskimäärin [61]. Pienikokoisuuskin lisää kylmälttiutta verrattuna suurikokoisuuteen. Sukupuolen vaikutus on aiemmin luultua suurempi sen osalta, millaisen lämpötilan kokee miellyttäväksi. Ero on hyvin merkittävä S. Karjalaisen Suomessa tekemän tutkimuksen mukaan, joka julkaistiin vuonna 2007. Se oli 3094 henkilön haastattelututkimus, joten se oli kvantitatiivisesti varteenotettava. Koetilanteet olivat myös kontrolloituja. [61] Asuinrakennusten yksittäisten huoneiden lämpötilat voidaan asettaa niiden pääsääntöisten käyttäjien preferenssien mukaiseksi, mikä lisää asukkaiden hyvinvointia ja tyytyväisyyttä kotiloihinsa [9, 11]. Esimerkiksi lastenhuoneessa on hyvä olla muuta huoneistoa lämpimämpää lasten pienemmän koon vuoksi.

Lämmön lisäksi myös turvallisuuden tuntu on tärkeää kotiloissa. Älykkään talotekniikan avulla asuinrakennuksen turvallisuutta voidaan lisätä lähes rajattomasti. [11] Erilaiset turvajärjestelmät varkaudenestoiseen ja hälytyksineen suojaavat rakennusta, siellä säilytettävää omaisuutta ja ennen kaikkea asukkaita. Kyseiset järjestelmät voivat varoittaa

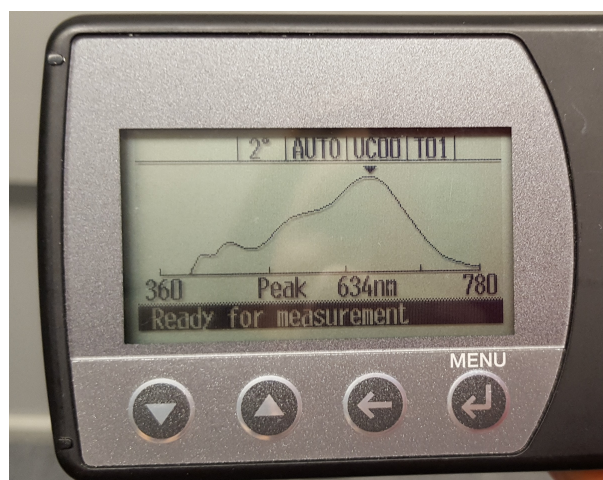
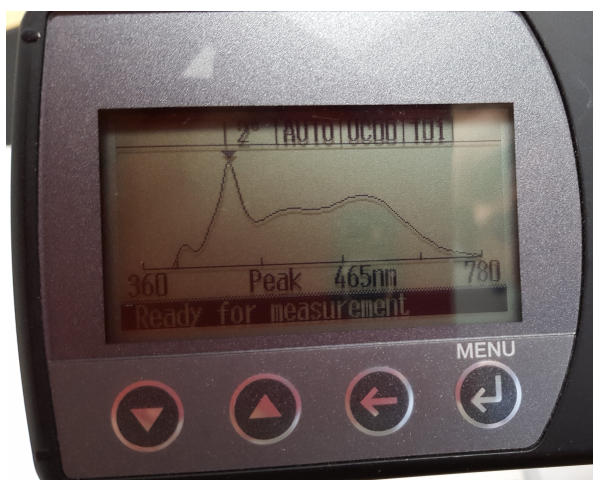
tunkeilijoista tai varoittaa itse tunkeilijoita jatkotoimenpiteistä, mikäli rakennuksen sisälle yritetään pyrkiä kyseenalaisin keinoin. Turvajärjestelmät pitää pystyä räätälöimään huoneistokohtaisesti, koska kaikki eivät koe korkeaa turvallisuuden tasoa omakseen. Osa kokee erilaiset valvontamenetelmät, esimerkiksi kamerat, liiaksi omaa yksityisyyttä loukkaaviksi [60]. Turvallisuuden tuntua lisää myös rakennuksen suojaaminen erilaisilta taloteknisiltä ja ympäristön uhilta. Tekniset järjestelmät voivat olla uhkatekijä erilaisten häiriöiden ilmaantuessa. Älykkään talotekniikan avulla niitä voidaan ennakoida ja niihin voidaan varautua. [35]

Asumismukavuuteen vaikuttavat myös muut tekijät kuin sopiva lämpötila ja turvallisuus. Näitä ovat mm. hyvä sisäilmanlaatu ja laadukas valaistus. [60] Puhdas, happipitoinen ilma lisää asukkaiden viihtyvyyttä ja hyvinvointia [62]. Valaistuksen avulla puolestaan voi luoda oikeanlaiset olosuhteet sekä vuorokausirytmien että tunnelman kannalta. Ihmiskeskeinen valaistus auttaa ihmisiä jaksamaan läpi talven kaamoksen [63, 64], millä on todella paljon vaikutusta ihmisten hyvinvointiin Suomessa. Älykäs valaistus mahdollistaa myös erilaiset tunnelmavalaukset [27], mikä lisää kodikkuuden tuntua.

4 HCL-valaistuksen pilottitutkimus

4.1 HCL-valaistuksen pilottitutkimuksen taustatiedot

Pilottitutkimus toteutettiin, jotta saataisiin selville EEG-menetelmän (elektroenkeflografia eli aivosähkökäyrä) kelpoisuus valoaltistuksen aiheuttaman vireystason kasvun todentamiseen. Tutkimisen kohteena oli nimenomaan sinisen valon tietyn aallonpituuden vaikutus ihmisen vireystasoon. Aiempiin tutkimuksiin nojaava hypoteesi oli, että aallonpituudeltaan noin 465 nm – 470 nm valo vaikuttaa ihmiseen virkistävästi. Tutkimuskäytössä olleen valaisimen spektriikki sijoittui aallonpituudelle 465 nm (*Kuva 7*). Vertailukohteena olevasta tavallisesta valkoisesta valosta kyseinen spektriikki puuttui kokonaan (*Kuva 8*). Tiedetään, että silmien kautta näkyvä valo stimuloi thalamuksen takaosaa tuottaen välittömän vireysvaikutuksen etenkin jo edellä mainitun sinisen valon vaikutuksen alaisuudessa. Vaikutus on näkökyvystä riippumaton [65], joten siitä voivat hyötyä kaikki ihmiset. Se kuitenkin vaatii lisää ja tarkempaa määrällistä tutkimusta spektrikomponenttien osalta. Tämän pilottitutkimuksen tulosten pohjalta voidaan arvioida varsinaisen laajemman tutkimuksen toteutettavuutta.



Kuvat 7-8: Valaisimien A ja B spektri mitattuna.

Pilottitutkimuksessa käytettiin koehenkilöiden vireystason selvittämisen tukena ja EEG-mittauksen vertailukohtana KSS-itsearviointia (Karolinska Sleepiness Scale) [66], koska se on EEG:n kanssa vertailukelpoinen ja validi tutkimusmetodi. Molemmat ovat myös jo aiemmin uneliaisuustutkimukseen käytettyjä menetelmiä. [67] Ensihoitajien keskuudessa tehdyn tutkimuksen mukaan KSS-arvon ollessa 9 (äärimmäinen uneliaisuus, taistelu nukahtamista vastaan) keskimääräinen reaktioaika oli 566 ms. KSS-arvoilla 1 – 8 reaktioaika vaihteli välillä 275 – 326 ms. Korkeimman KSS-arvon kohdalla reaktioaika oli siten huomattavasti pidempi verrattuna alhaisimpiin väsymystasoihin. Tämän perusteella KSS on ainakin osittain pätevä väsymystasoa mittaava metodi. [47]

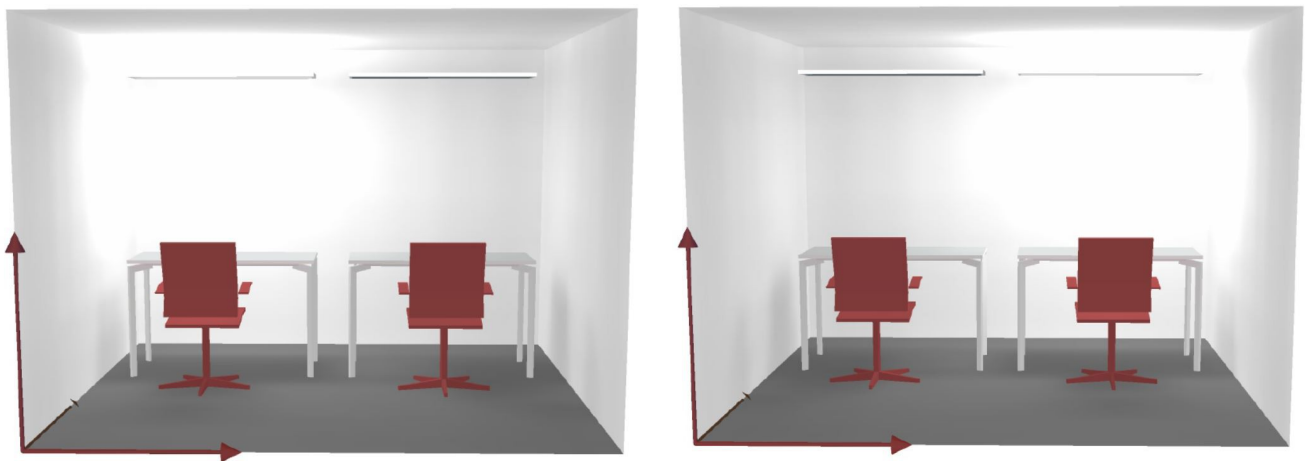
K. Kaida, M. Takahashi, ym. tutkivat vuonna 2006 KSS:n japanilaisen version pätevyyttä väsymystason ilmaisijana. KSS-J:n (KSS:n japanilainen versio) tuloksia verrattiin EEG-mittauksella saatuihin tuloksiin. Mitä korkeampaa KSS-J-arvoa kohti mentiin, sitä merkittävämmän kasvoivat keskimääräinen reaktioaika, virheiden määrä, alfa- ja theta-tiheys ja AAC (alpha attenuation coefficient). Vertailun perusteella todettiin, että KSS-J ja siten myös alkuperäinen KSS on pätevä tapa arvioida väsymystasoa. [67]

4.2 Tutkimusmenetelmät, -laitteisto ja käytännön toteutus

Pilottitutkimukseen osallistui kaksi koehenkilöä: Koehenkilöt A ja B. Koehenkilöt olivat vapaaehtoisia, eikä heille maksettu palkkioita osallistumisestaan. Molemmat olivat miehiä, joten sukupuolieroja ei pilottitutkimukseen osallistujien keskuudessa ollut. Heidän ikänsä asettuivat välille 20 – 50 vuotta. Ikäeroa ei kuitenkaan erikseen huomioitu missään pilottitutkimuksen vaiheessa.

Pilottitutkimus toteutettiin Aalto-yliopiston käyttäytymistieteiden laboratoriossa Espoossa EMC-suojahuoneessa (kts. Sanasto). Suojaus tarkoitti tässä tapauksessa sitä, että

laboratoriohuone oli eristetty huoneen ulkopuolisten sähkölaitteiden sähkömagneettiselta vaikutukselta. Huoneen sisällä oli riittävä sähköistys pilottitutkimuksen toteutuksen kannalta välttämättömien laitteiden tarpeisiin. Huoneen mitat olivat: 300 cm x 318 cm x 216 cm (h). Huoneessa simuloitiin toimisto-olosuhteita. Kyseessä oli siten elävä laboratorio. Koehenkilöitä varten huoneeseen sijoitettiin toimistopöydät, -tuolit ja pilottitutkimuksen kannalta oleelliset valaisimet (Kuvat 9-10). Toimistopöydän koko oli: 120 cm x 60 cm x 76 cm (h) ja pinta-ala siten $1,2 \text{ m} * 0,6 \text{ m} = 0,72 \text{ m}^2$. Pilottitutkimuksessa käytetyt valaisimet asennettiin lattiatasolta arvioituna noin 195 cm korkeudelle. Valaisimet olivat siten noin 120 cm toimistopöydän tason yläpuolella.



Kuvat 8-10: Dialuxilla luodut valaistusasetelmat 1-2.

Pilottitutkimuksessa käytettiin kahta kuoreltaan identtistä valaisinta, joissa kuitenkin oli erilainen sisus, mikä aiheutti niille toisistaan poikkeavan spektrin (Kuvat 7-8). Molempien valaisimien valaistusvoimakkuus säädettiin keskenään samalle tasolle, joka oli noin 620 lx. Valaistusvoimakkuuden taso varmistettiin siihen tarkoitettulla mittarilla. (Kuva 11). Se saatiin lainaan pilottitutkimusta varten Aalto-yliopiston valaistuksen laboratoriosta, Espoosta. Valaisinmallina käytettiin ”ES System”-in valaisinmallia ”ES-System Transparent 587460” (Kuva 12) [68]. ”KT interior” ja ”ES System” tarjosivat kyseiset valaisimet maksutta tutkimuskäyttöön. ”KT interior” on näiden valaisimien maahantuoja toimistokalustoja myyvä yritys. ”ES System” puolestaan tuottaa kyseisiä valaisimia, mukaan lukien HCL-valaisimen erikoisLEDit. Nämä valaisimet runkoineen olivat sisäkattoon asennettavia 76 W:n riippuvalaisimia, jotka tarjosivat sekä suoraa että epäsuoraa valoa valaisten koko

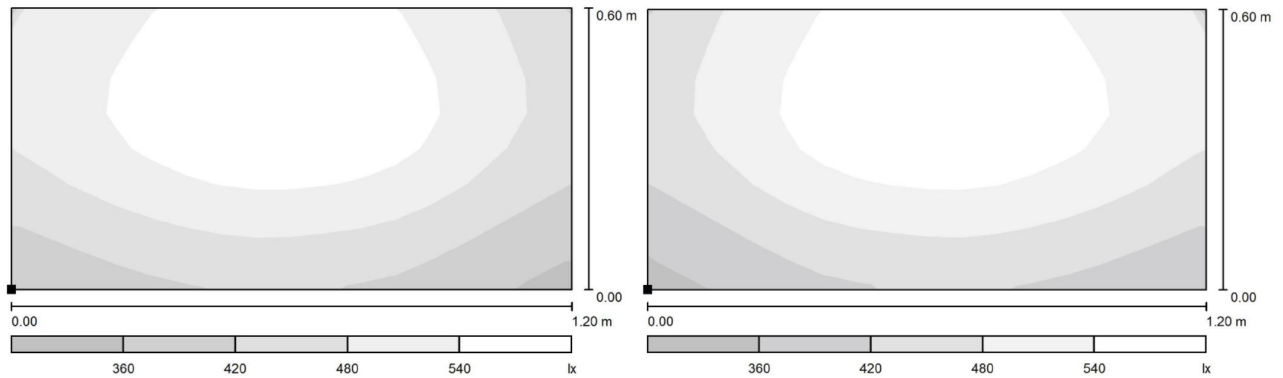
pilottitutkimuksessa käytetyn toimistopöydän (Kuvat 13-14) [68]. Valokeila oli symmetrinen [68]. Lisätiedot käytetystä valaisimesta löytyvät kappaleesta Liitteet (Liite 1) [68].



Kuva 11: Valaistusvoimakkuuden mittaukseen käytetty laite.

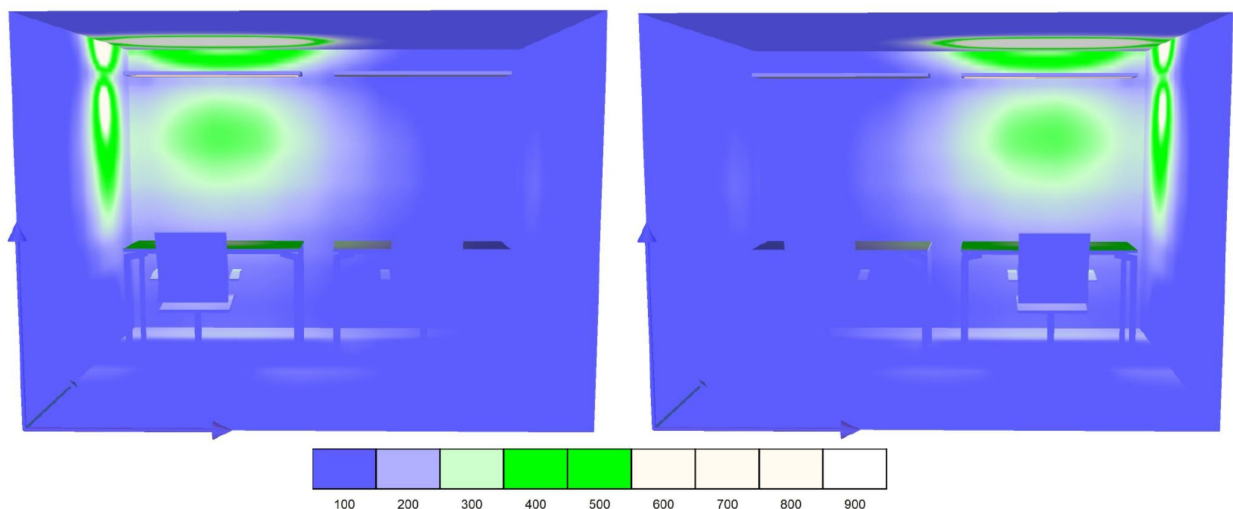


Kuva 12: ES-System Transparent 587460 -riippuvalaisin.



Kuvat 13-14: Dialuxilla luotu työpöydän taso valaistustilanteissa 1-2.

Pilottitutkimukseen osallistuneet koehenkilöt altistettiin kahteen erilaiseen valaistustilanteeseen (Kuvat 15-17) laboratorio-olosuhteissa. Alla on esitettynä siihen liittyvä tutkimussuunnitelma (Taulukko 5). Kumpikin valaisin asetettiin suoraan toimistopöydän yläpuolelle, jotta valaisimet valaisisivat mahdollisimman hyvin koehenkilöiden työskentelytilan heidän istuessaan toimistopöydän äärellä toimistotuolissa (Kuvat 9-10). Havainnekuvista (Kuvat 9-10) poiketen toimistotuolit olivat tummanharmaita, jotta niiden mahdollinen värivaikutus ei häiritsisi tutkimustilannetta haitallisessa määrin. Toimistopöydät muistuttivat väritykseltään vaaleaa puuta. Valaisimena A käytettiin ihmiskeskeistä valaisinta (HCL). Siinä oli valkoisten ledien lisäksi sinisiä ledejä, jotka aiheuttivat valaisimen spektriin piikin kohdalle 465 nm (Kuva 7). Tavanomaisen, pelkkää valkoista valoa säteilevän valaisimen B spektrissä kyseistä piikkiä ei ollut (Kuva 8).



Kuvat 15-17: Dialuxilla luodut väärävärikuva muodostukset valaistustilanteissa 1-2 ja niiden vääräväriasteikko.

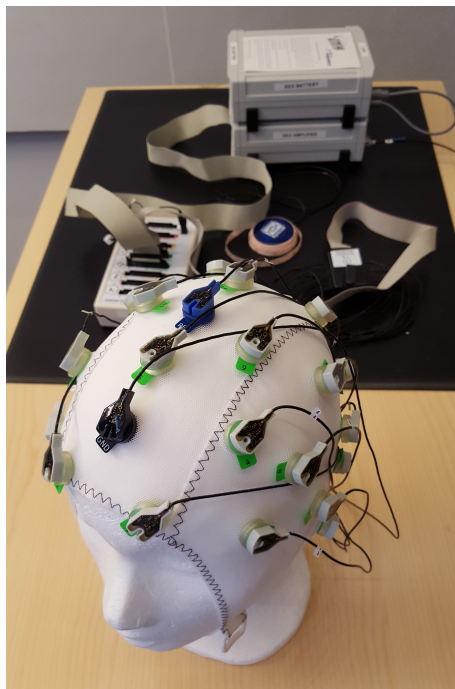
Taulukko 5: *Pilottitutkimuksen tutkimussuunnitelma.*

Tausta	Silmien kautta tuleva näkyvä valo stimuloi thalamuksen takaosaa tuottaen välittömän vireysvaikutuksen. Spektrikomponenttien vaikutus vireyteen vaatii kuitenkin lisää ja tarkempaa määrällistä tutkimusta.
Tavoite	Tarkoituksena on tutkia tuottaako ihmiskeskeinen valaistus (olosuhde A) merkittävämmän vireystilan kasvun verrattuna tavanomaiseen keinotekoiseen valaistukseen (olosuhde B).
Koehenkilöt	Tutkimuksen toteutuskelpoisuuden testaamiseen osallistuu kahdesta neljään tervettä, vapaaehtoista koehenkilöä.
Suunnitelma	Tutkimuksen aikataulussa A ja B olosuhteet seuraavat toisiaan (kuten ABAB) ja jokainen sessio kestää kaksi tuntia. Sessiot järjestetään aina neljänä arkipäivänä aikavälillä 9.30-11.30. Jokainen koehenkilö altistetaan sekä A että B olosuhteille kahteen kertaan eli yhteensä kahdeksan tunnin ajan, jonka aikana elektroenkefalografiaa (EEG) tallennetaan jatkuva-aikaisesti. Mitään invasiivisia menetelmiä ei ole käytössä, eikä ärsykeitä anneta.
Arviointi	32-elektrodin järjestelmällä (actiCAP) tallennetaan ambulatorista lepo-EEG:tä Aalto yliopiston Magneettitalon käyttäytymistieteiden laboratoriossa, joka sijaitsee Espoon Otaniemessä (http://ani.aalto.fi/en/abl/). Saadulle datalle tehdään EEG-spektrianalyysi (Analyzer 2.1). Tuloksien muuttujat sisältävät jokaisen taajuusalueen absoluuttisen keston (minuutteina) ja relatiivisen osuuden (prosentteina). Tulosanalyysiin käytetään jokaisen EEG-mittaussektion kolmatta 30 minuutin ajanjaksoa. Koehenkilöiltä kerätään heidän itse kirjaamansa nukkumaan meno ja heräämisajat koko tutkimusajalta. Väsymystaso pisteytetään (Karolinska Sleepiness Scale) tutkimuksen alkaessa (klo: 10.00), kahdesti sen keskivaiheilla (klo: 10.30 ja klo: 11.00) ja sen lopuksi (klo: 11.30), eli yhteensä 16 kertaa koehenkilöä kohden.

Pilottitutkimuksen toteutukseen käytettiin kahdeksan aamua/aamupäivää Aalto-yliopiston käyttäytymistieteiden laboratoriossa (*Taulukko 5*). Aamut/aamupäivät jaettiin tasan koehenkilöiden kesken niin, että kumpikin altistui kummankin valaisimen (valaisimet A ja B) valolle kahtena erillisenä aamuna/aamupäivänä. Ajankohdat toteutuivat sen mukaan, millaiset aikataulut koehenkilöillä oli töiden osalta. Koehenkilö A altistui valaisimille seuraavassa järjestyksessä: ABAB. Koehenkilö B puolestaan altistui valaisimille järjestyksessä: ABBA. Toisistaan poikkeavat järjestykset valittiin siitä syystä, että järjestyksessä olisi variaatiota koehenkilöiden kesken.

Kyseessä oli sokkotutkimus. Koehenkilöt eivät nimittäin tiedneet etukäteen kummalle valolle heidät altistettaisiin ennen EEG-mittausten aloittamista. Kummallekaan koehenkilölle ei myöskään missään vaiheessa kerrottu kumpi valaisimista oli ihmiskeskeinen tai tavallinen. Näin varmistettiin pilottitutkimuksen luotettavuus etenkin KSS-metodin käytön suhteen. Se on subjektiivinen tutkimusmenetelmä (itsearviointi), joten etukäteistieto valaisimen laadusta olisi voinut vääristää itsearvioinnin tuloksia. Tätä pyrittiin välttämään.

Jokainen tutkimussessio kesti yhteensä kaksi tuntia sisältäen: alkuvalmistelut, 2 EEG-nauhoitusta ja 4 KSS-arviointia (*Taulukko 5*). Ajasta ensimmäinen $\frac{1}{4}$ oli varattu alkuvalmisteluihin, seuraavat $\frac{1}{2}$ aktiivisen työskentelyn EEG-mittaukseen ja viimeinen $\frac{1}{4}$ häiriöttömään EEG-mittaukseen. Alkuvalmisteluihin kuului toimisto-olosuhteiden luominen eli kalusteiden paikalleen laittaminen pilottitutkimuksessa käytettyyn laboratoriohuoneeseen. Myös koehenkilö piti valmistella tutkimukseen asettamalla oikeaoppisesti hänen päähänsä actiCAP-EEG-lakki (*Kuva 18*). Tämän jälkeen kytkettiin mittauslaitteet (*Kuva 19*) actiCAP-EEG-lakkiin ja käynnistettiin EEG-ohjelmisto tietokoneelta. EEG-tallennukseen käytettiin BrainVision Recorder -tietokoneohjelmaa.

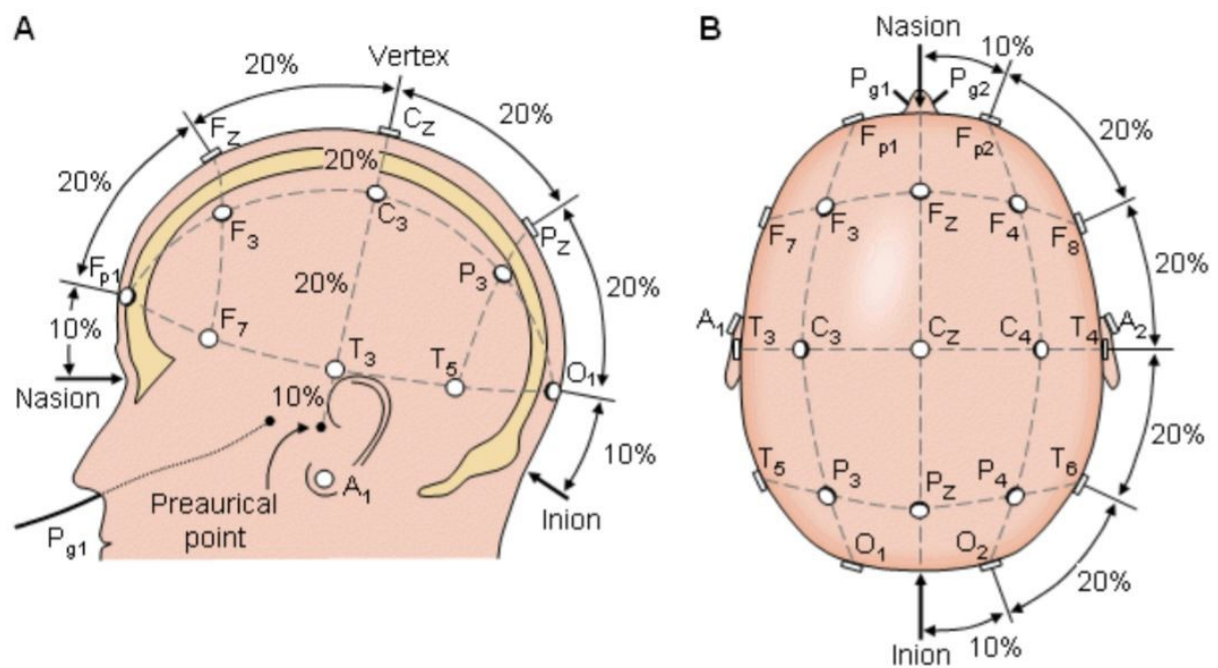


Kuva 18: EEG-lakki ja siihen liittyvää laitteistoa.



Kuva 19: EEG-mittaukseen käytettyjä laitteita.

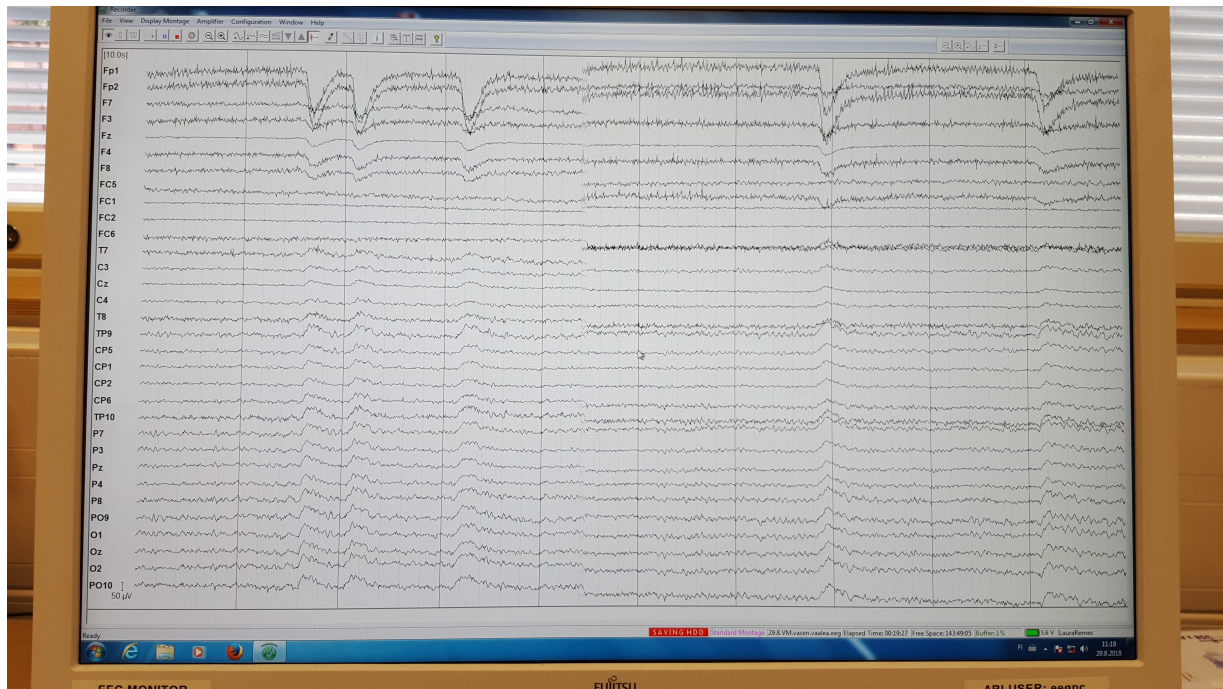
Alkuvalmisteluiden suhteen piti olla tarkkana, jotta EEG-tulokset olivat varteenotettavia. ActiCAP-EEG-lakki piti asetella koehenkilön päähän niin, että kaikki sen 32 elektrodia osuivat tarkasti tiettyihin ennalta määrättyihin kohtiin (*Kuva 20*). Erityisesti keskilinjän paikalleen asettaminen vaati erityistä tarkkuutta referenssipisteen sijaitessa kyseisellä akselilla (*Kuva 20*). Mittauslaitteet kytkettiin actiCAP-EEG-lakin oikeaoppisen asettelun jälkeen. Sen jälkeen oli vuorossa elektrolyyttigeelin ruiskutus actiCAP-EEG-lakin elektrodeihin (*Kuva 21*), jotta sähkövirta kulkisi koehenkilön päästä lakin kautta mittauslaitteistoon. Sähkövirran kulku tarkistettiin mittauslaitteiston avulla. Sähkövirran kulun varmistuttua, tarkistettiin elektrodeja vastaavien EEG-käyrien laatu EEG-ohjelmistosta (*Kuva 22*). Jokaisesta actiCAP-EEG-lakin elektrodista piirtyi oma käyrä tietokonenäytölle. Siinä vaiheessa kun todettiin kaiken edellä mainitun olevan kunnossa, kytkettiin valaisin päälle, EMC-suojahuoneen ovi suljettiin ja EEG-mittaukset aloitettiin.



Kuva 20: EEG-lakin elektrodien oikeaoppiset sijainnit.



Kuva 21: Pilottitutkimuksessa käytetty elektrolyyttigeeli ja ruiskut sen levitykseen.



Kuva 22: Halutunlainen, mahdollisimman häiriötön EEG-käyrästä.

Juuri ennen EMC-suojaoven sulkemista ja EEG-mittausten aloitusta koehenkilölle jätettiin KSS-itsearviointilomake täytettäväksi nukkumaanmeno-, heräämisajan ja väsymystasojen osalta (Kuva 23). Valaisimen ja koehenkilön koodit (A ja B) olivat päiväyksen lisäksi esitetyt. Koehenkilöä oli ennen pilottitutkimukseen osallistumista ohjeistettu kirjaamaan ylös nukkumaanmeno- ja heräämisajat. He kirjasivat tutkimushuoneessa kyseiset ajankohdat tutkimuskaavakkeeseen (Kuva 23). Sen lisäksi he täyttivät ”rasti ruutuun” -periaatteella uneliaisuustasot tutkimushuoneen oven sulkemisesta lähtien puolen tunnin välein siihen saakka, kunnes EEG-mittaus päätettiin kyseisen aamun/aamupäivän osalta. Vaikka tutkimuksessa on kirjattuna tarkat kellonajat uneliaisuustason merkitsemiseksi, niitä ei käytännössä pystytty tarkasti noudattamaan aikatauluongelmista johtuen. Kirjaamisajankohdat ilmoitettiin koehenkilöille tutkimushuoneeseen sisäpuhelimien avulla (Kuva 24), koska heillä ei ollut mekaanista kelloa käytössään. Sähköisiä kelloja ei tutkimustilanteessa viimeisen 30 min aika sallittu. Koehenkilöiden mielestä oli helpompaa jättää kello kokonaan pois koko tutkimusaamun/aamupäivän ajaksi kun vaihtoehtona olisi ollut sen erillinen poistaminen ennen viimeisen 30 min alkamista. Siksi heillä ei ollut sähköisiä kelloja käytössään.

Tutkimuskaavake

Päiväys:

Valaisin:

Koehenkilö:

Nukkumaanmeno aika:

Heräämisaika:

Väsymystasot:

Klo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10.00									
10.30									
11.00									
11.30									

Väsymystason pisteytys:

1 = Äärimmäisen virkeä

2 = Erittäin virkeä

3 = Virkeä

4 = Aika virkeä

5 = Ei erityisen virkeä, eikä erityisen väsynyt

6 = Joitain väsymyksen oireita

7 = Väsynyt, mutta ei ole vaikeuksia pysyä hereillä

8 = Väsynyt ja jonkin verran vaikea vaikeuksia pysyä hereillä

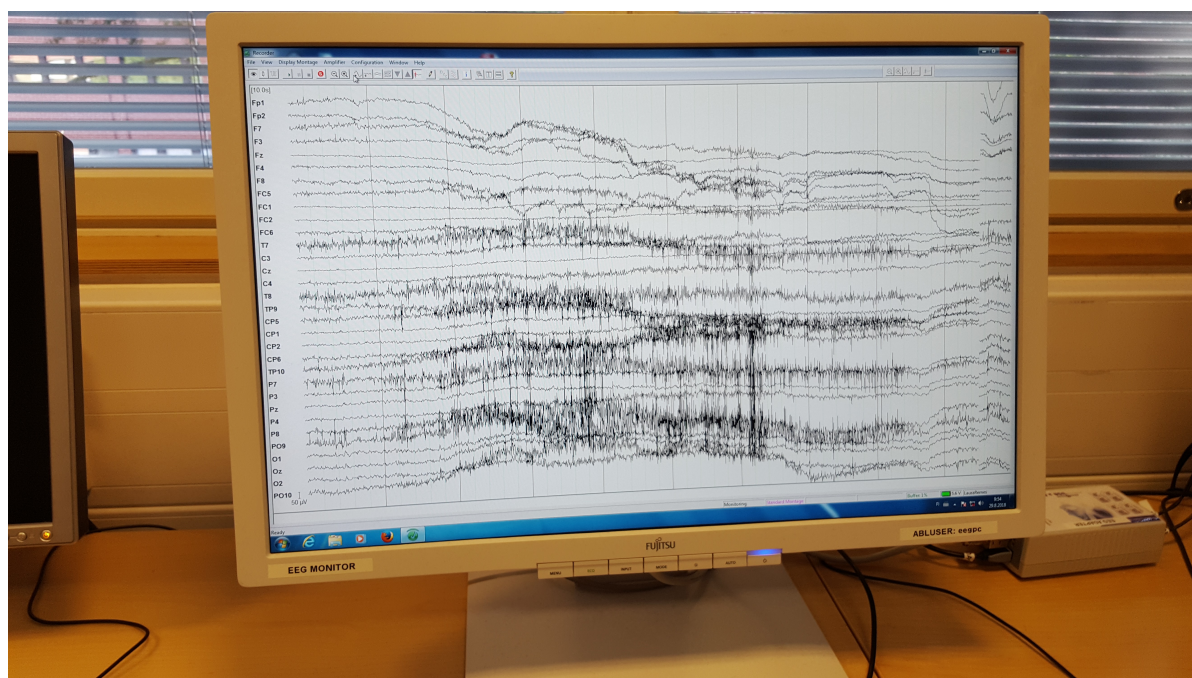
9 = Erittäin väsynyt, suuria vaikeuksia pysyä hereillä ja taistelua nukahtamista vastaan

Kuva 23: Pilottitutkimuksessa käytetty tutkimuskaavake/KSS-itsearviointilomake.



Kuva 24: Pilottitutkimuksessa käytetty sisäpuhelin.

Aktiivisen työskentelyn aikana koehenkilöiden sallittiin käyttää kannettavaa tietokonetta ja älypuhelinta, koska aktiivisen työskentelyn ajan tarkoituksena oli simuloida oikeaa toimistotyöskentelytilannetta. Kyseisessä ratkaisussa ajateltiin myös koehenkilöiden viihtyvyyttä. Tunnin ajan paikallaan istuminen ilman ylimääräisiä viihdykkeitä koettiin liian haastavaksi koehenkilöiden taholta. Ylimääräistä liikkumista ohjeistettiin välttämään, koska liikkeet voivat aiheuttaa häiriöitä EEG:hen. Häiriöt voivat olla jopa niin voimakkaita, ettei niiden alta pystyittäisi havaitsemaan pilottitutkimuksen kannalta niitä kaikkein oleellisimpia tietoja EEG:stä. Alla on esitetty, kuinka paljon häiriöitä jo tavanomaiset suun liikkeet voivat aiheuttaa (*Kuva 25*) verrattuna häiriöttömään dataan (*Kuva 22*). Suuremmissa liikeradoissa häiriöt kasvaisivat entisestään. Liikkumista ei kuitenkaan rajoitettu siinä määrin kuin viimeisellä neljänneksellä. Aktiivisen työskentelyn aikana tehty EEG-mittaus oli nimittäin jo tutkimussuunnitelmassa todettu epäoleelliseksi verrattuna viimeiseen puolituntiseen. Tarkoituksena oli ensisijaisesti antaa valon vaikuttaa koehenkilöön aktiivisen työskentelyn aikana riittävän kauan niin, että viimeisen puolituntisen aikana olisi näkyvissä vireystasoero verrattuna aktiivisen työskentelyn aloitustilanteeseen.



Kuva 25: Suun liikkeistä aiheutuneita häiriöitä EEG:ssä.

Pilottitutkimuksen käytännön toteutuksessa valon annettiin vaikuttaa koehenkilöön tunnin ajan ennen varsinaista EEG-mittauksia. Varsinaisella EEG-mittauksella tarkoitetaan tässä sitä osuutta EEG:stä, josta tehtyjä analyysejä käytettiin vireystasoeron tutkimiseen. Viimeisen noin 30 min (± 2 min) ajaksi kaikki ylimääräiset sähköiset laitteet poistettiin tutkimushuoneesta. Laitteiden poistamiseksi EEG-mittaus keskeytettiin ja EMC-suojaovi avattiin hetkellisesti. Laitteet siirrettiin EMC-suojahuoneen ulkopuolelle. Koehenkilöä kehoitettiin välttämään liikkumista entistä tarkemmin ylimääräisten EEG-mittauksia haittaavien häiriöiden välttämiseksi. Ainoa sallittu aktiviteetti oli lukeminen. Laitteiden poistamisen ja edellä mainittujen ohjeistusten jälkeen EMC-suojaovi suljettiin uudelleen ja pilottitutkimuksen tulosten kannalta oleellinen EEG-mittaus aloitettiin. Nämä varsinaiset EEG-mittaukset tallennettiin erillisinä ja erikseen nimettyinä tiedostoina, jotta olisivat selkeästi erotettavissa aktiivisen mittauksen aikaisista EEG-käyristä.

Pilottitutkimuksen laboratorioaamujen/-aamupäivien jälkeen olivat vuorossa analyysit KSS:n, EEG:n ja niiden vertailukelpoisuuden tulkitsemiseksi. KSS-yhteenvetojen muodostaminen tapahtui yksinkertaisesti Exceliä hyödyntäen. Yhteenvedot tehtiin sekä molemmista koehenkilöistä erikseen että heidän tietonsa yhdistämällä. EEG-analyysien teko vaati suurempaa panostusta ja tietotaitoa. Niiden osalta tuli apua neurotieteiden ja biomedikaalisen tekniikan laitokselta Aalto-yliopistosta, Espoosta. EEG-tehospektrit luotiin Matlab-ohjelmistolla. Näistä kaikista tarkemmat tiedot on kirjattuna kappaleeseen 5 Tulokset.

Pilottitutkimuksen käytännön toteutuksessa tuli esille erilaisia aikatauluongelmia: mittauksen ajankohtien täsmällisyys ja systemaattisuus, koehenkilöiden nukkumaanmeno- ja heräämisaikojen vaihtelu. Ensimmäisinä mainituista aikatauluongelmista johtuen, ei tutkimussuunnitelman ja -kaavakkeen mukaisia KSS-itsearviointien ajankohtia pystytty täsmällisesti noudattamaan. Siten myöskään EEG-mittaukset eivät tapahtuneet käytännössä samaan aikaan, kuten pilottitutkimus oli alun perin suunniteltu. Koehenkilöiden aikatauluja rajoittivat mm. työt, tärkeät tapaamiset ja matkat. Mittauksen oikeat ajankohdat ovat nähtävissä alla (*Taulukko 6*). Nukkumaanmeno- ja heräämisaikojen vaihtelu oli mittausaikojen vaihtelua suurempaa (*Taulukko 7*). Niistä on myös selkeästi nähtävissä, ettei koehenkilö B ole nukkunut riittävästi. Koehenkilöiden itsearviointien kannalta ei ollut käytännön merkitystä sillä, etteivät arviointiajankohdat osuneet täysin kohdalleen, koska kirjausajankohdat

ilmoitettiin koehenkilölle sisäpuhelimien avulla. Kellonajat olivat siinä mielessä epärelevantteja koehenkilöiden kannalta.

Taulukko 6: KSS-väsymystasojen kirjausajankohdat jokaisen aamun/aamupäivän osalta.

Päiväys	1. mittaus (klo)	2. mittaus (klo)	3. mittaus (klo)	4. mittaus (klo)
To 23.8.2018	09:21	09:52	10:22	10:53
Pe 24.8.2018	09:18	09:49	10:19	10:50
Ma 27.8.2018	09:45	10:16	10:47	11:17
Ti 28.8.2018	09:40	10:11	10:41	11:12
Ke 29.8.2018	09:43	10:14	10:44	11:45
To 30.8.2018	09:37	10:08	10:38	11:09
La 8.9.2018	10:14	10:44	11:14	11:45
Ma 10.9.2018	09:46	10:16	10:46	11:07

Taulukko 7: Koehenkilöiden A ja B nukkumaanmeno- ja heräämisajat valaisimineen.

Päiväys	Koehenkilö	Valaisin	Nukkumaanmeno- aika	Heräämisaika
To 23.8.2018	A	A	22:30	06:45
Pe 24.8.2018	A	A	23:15	06:45
Ma 27.8.2018	A	B	00:00	08:00
Ti 28.8.2018	A	B	00:00	08:00
Ke 29.8.2018	B	A	05:00	07:00
To 30.8.2018	B	B	03:35	07:40
La 8.9.2018	B	B	05:00	08:10
Ma 10.9.2018	B	A	03:00	07:30

5 HCL-valaistuksen pilottitutkimuksen tulokset

5.1 KSS-tulokset

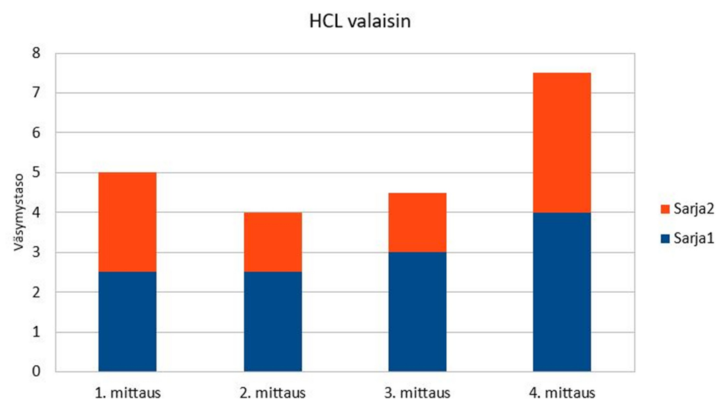
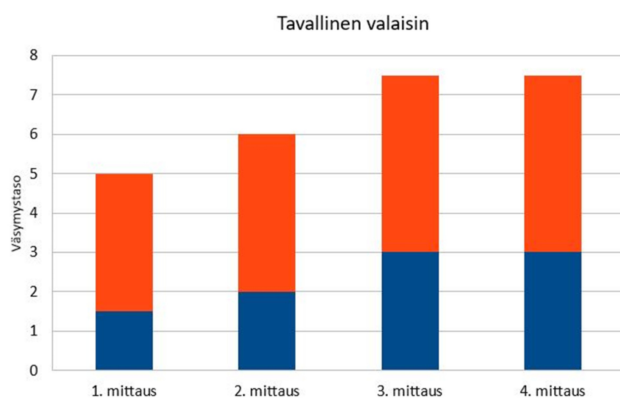
KSS-tulokset muodostettiin paperisten itsearviointilomakkeiden (*Kuva 23 ja taulukot 8-9*) pohjalta Microsoft Officen Excel tietokoneohjelmalla. Kaikki itsearviointitasot syötettiin Exceliin. Yhteenvedot uneliaisuustasoarvoista tehtiin koehenkilöistä A ja B sekä erikseen että yhdessä. Molemmissa tapauksissa valaisimet A ja B eroteltiin, jotta niiden erilainen vaikutus olisi näkyvissä. Uneliaisuustasot skaalattiin KSS:n mukaiseen asteikkoon 1 – 9, jotta ne olisivat yhdenmukaisia. Näistä skaalatuista tasoista luotiin Excelillä pylväsdiagrammit (*Kuvat 24-29*).

Taulukko 8: Koehenkilön A KSS-itsearviointit valaisimineen.

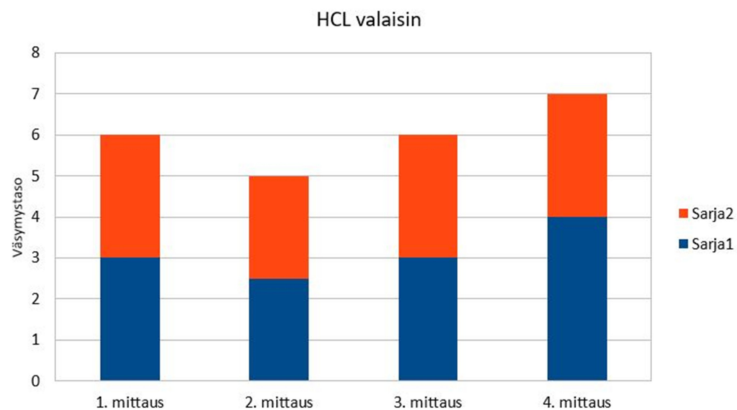
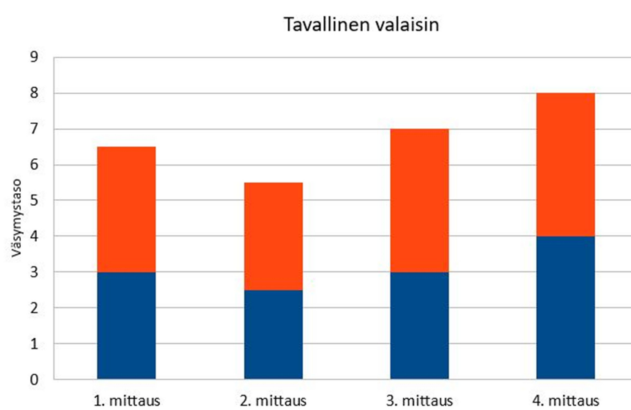
Päiväys	Valaisin	1. arvio (KSS)	2. arvio (KSS)	3. arvio (KSS)	4. arvio (KSS)
To 23.8.2018	A	3	4	6	6
Pe 24.8.2018	B	5	5	6	8
Ma 27.8.2018	A	7	8	9	9
Ti 28.8.2018	B	5	3	3	7

Taulukko 9: Koehenkilön B KSS-itsearviointit valaisimineen.

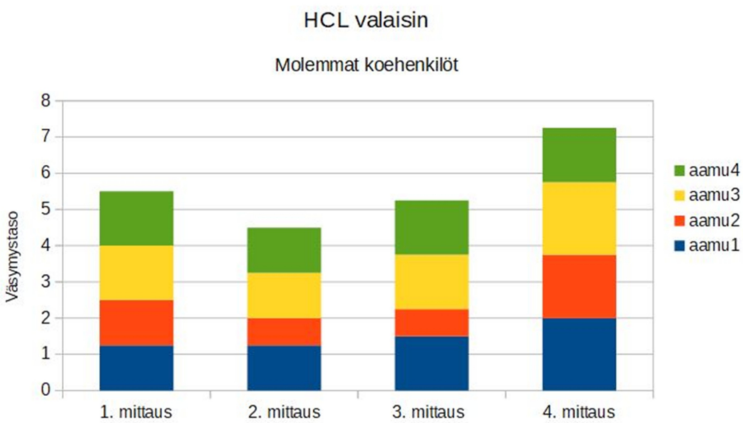
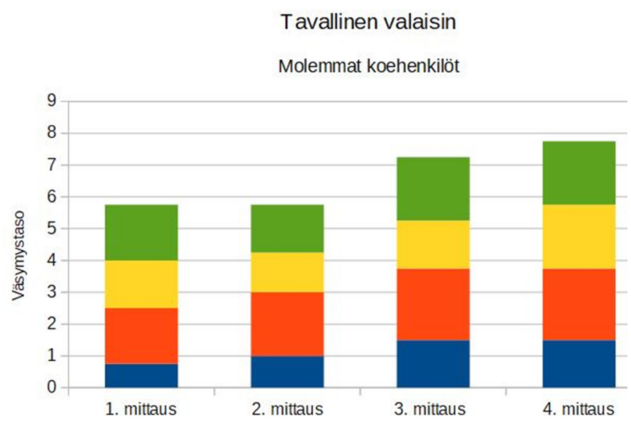
Päiväys	Valaisin	1. arvio (KSS)	2. arvio (KSS)	3. arvio (KSS)	4. arvio (KSS)
Ke 29.8.2018	A	6	5	6	8
To 30.8.2018	B	6	5	6	8
La 8.9.2018	B	7	6	8	8
Ma 10.9.2018	A	6	5	6	6



Kuvat 24-25: Tavallisen ja HCL-valaisimen vaikutukset koehenkilöön A.



Kuvat 26-27: Tavallisen ja HCL-valaisimen vaikutukset koehenkilöön B.

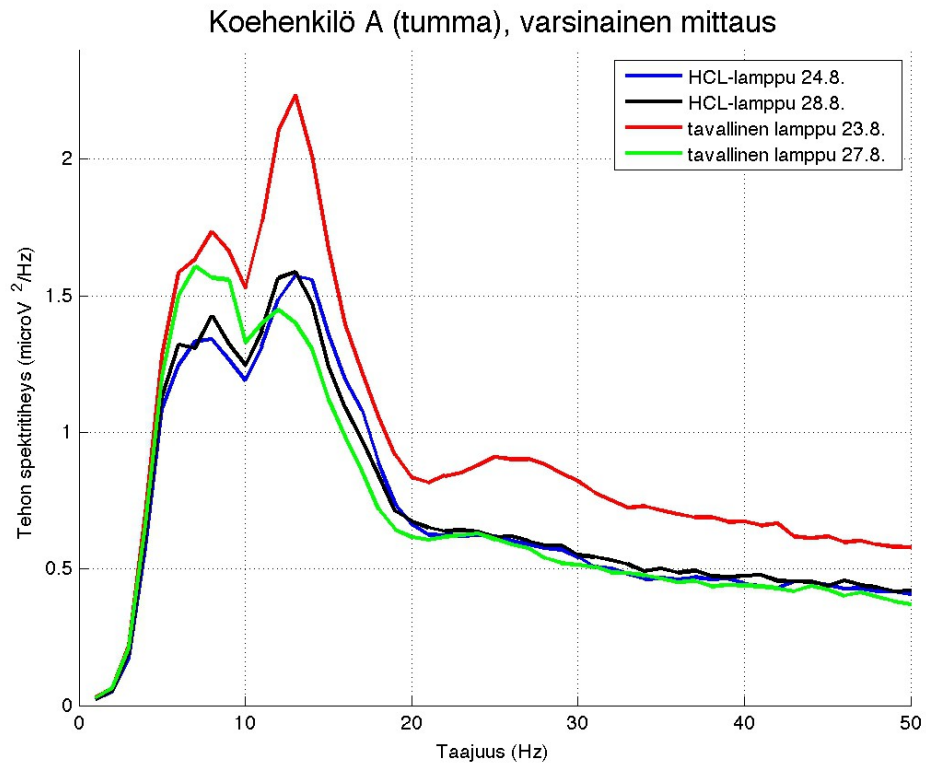


Kuvat 28-29: Valaisimien vaikutukset molempiin koehenkilöihin, yhteenveto.

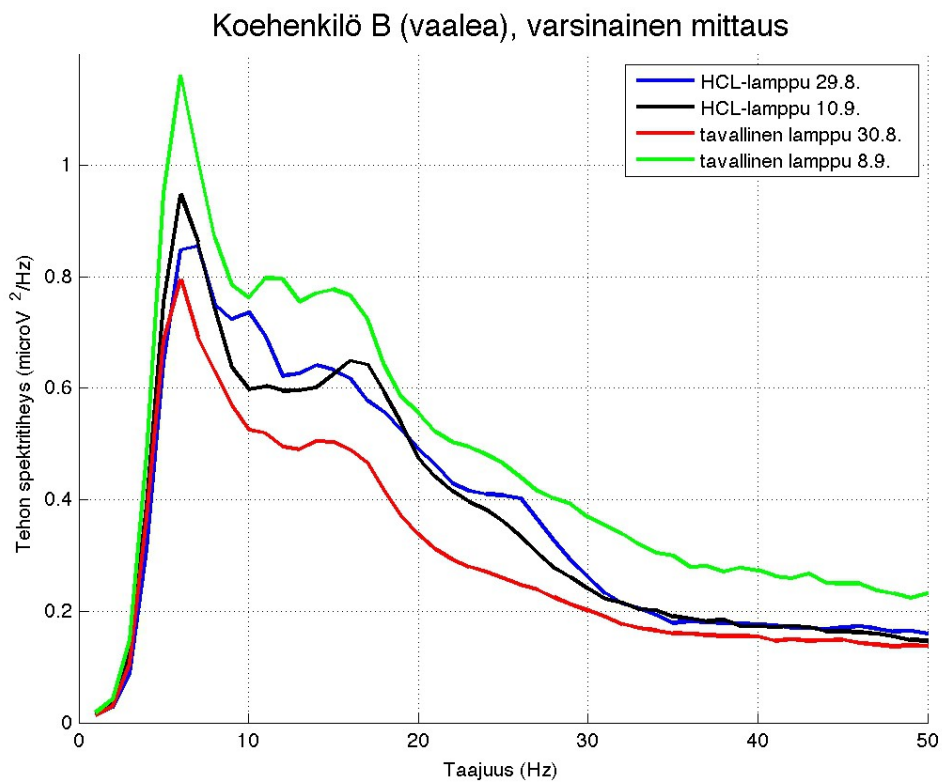
KSS-metodi tuki alun hypoteesia siitä, että tietty näkyvän valon spektrikomponentti nostaa ihmisen vireystasoa. Tavallisen valaisimen vireyttävä vaikutus oli molempien koehenkilöiden kohdalla selkeästi heikompaa kuin HCL-valaisimen (*Kuvat 24 ja 26*), vaikka tavallinen valaisin hetkellisesti nostikin koehenkilön B vireystasoa (*Kuva 26*). Lopussa koehenkilön B väsymystaso oli tavallisen valaisimen kohdalla selkeästi korkeampi kuin HCL-valaisimen kohdalla (*Kuvat 26 ja 27*). HCL-valaisin nosti vireystasoa, ainakin hetkellisesti, molempien koehenkilöiden osalta. HCL-valaisimen yhdistetyt tulokset (*Kuva 29*) olivat positiiviset verrattuna tavalliseen valaisimeen (*Kuva 28*).

5.2 EEG-tulokset

EEG-spektrikäyrien saanti lopulliseen muotoonsa vaati useampia vaiheita. Tallennetut EEG:t piti siivota ennen varsinaisia analyysejä. Silmäniskut ja ylimääräinen kohina poistettiin datasta. Näytteenottotaajuus laskettiin 250 Hz:iin. Lisäksi datalle tehtiin IIR-suodatus (Infinite impulse response) ja se segmentoitiin 1 s:n pätkiin. Saaduille pätkille laskettiin tehon spektritiheys, joista muodostettiin EEG-tehospektrien kuvaajat. Kaikkien sensorien kesken keskiarvoistetut kuvaajat on esitettynä alla (*Kuvat 30-31*) ja sensorikohtaiset tehospektrit löytyvät kappaleesta Liitteet (*Liitteet 2-3*).



Kuva 30: Koehenkilö A:n EEG-tehospektri, kaikkien sensorien keskiarvo.



Kuva 31: Koehenkilö B:n EEG-tehospektri, kaikkien sensorien keskiarvo.

Kuten edellä esitetyistä kuvaajista on nähtävissä, ei EEG-tehospektrissä ole nähtävissä eroa valaisinten välillä. Valaisimen A eli ihmiskeskeisen valon vaikutus näyttää tehospektreistä katsottuna systemaattisemmalta kuin valaisimen B eli tavallisen valon vaikutus. Valaisimen B vaikutus näyttää heittelevän merkittävästi eri aamujen/aamupäivien osalta molemmilla koehenkilöillä. Koehenkilöiden A ja B tehospektrit eivät muutoin juurikaan muistuta toisiaan. Jotta EEG-tehospektreistä voitaisiin päätellä jotain, tarvittaisiin suurempi otanta.

6 HCL-valaistuksen pilottitutkimuksen tulosten käsittely, arviointi ja vertailu

Pilottitutkimuksen perusteella tarvitaan laajempaa ja tarkempaa tutkimusta, jotta voitaisiin saada selkeä korrelaatio EEG:n ja KSS-itsearviointin välille. Koehenkilöitä pitäisi olla useampia ja heidän suhteen pitäisi olla tarkempi. Koehenkilöotannan pitäisi olla homogeenisempi tulosten tarkentumiseksi. Sen lisäksi koehenkilöt tarvitsisivat tarkemman ohjeistuksen tutkimukseen osallistumisen vaatimuksena. Heidät pitäisi pystyä myös sitouttamaan tutkimukseen.

Tutkimukseen osallistuvien koehenkilöiden pitäisi koostua toisiaan muistuttavasta ryhmästä tai erilaiset ryhmät olisi käsiteltävä erikseen. Koehenkilöiden mahdolliset ikäerot olisi huomioitava mahdollisen ikävaikutuksen osalta. Vaihtoehtoisesti koehenkilöiden pitäisi kuulua suunnilleen samaan ikäluokkaan. Noin 20 vuoden ikäero voi olla liian suuri. Sukupuolten homogeenisuuden osalta pilottitutkimus oli kuitenkin hyvin toteutettu.

Erilaiset aikatauluihin liittyvät haasteet korostuivat pilottitutkimuksen käytännön toteutuksessa. Laboratorioaamujen/-aamupäivien sopiminen oli haastavaa, koska kyseessä oli työaika. Kyseinen ongelma korostui entisestään, koska pilottitutkimukseen osallistuminen vaati useampaa (4 krt) aamun/aamupäivän poissaoloa päivätöistä. Se oli siten myös kustannuskysymys etenkin kun pilottitutkimukseen osallistumisesta ei jaettu minkäänlaisia palkkioita. Alkuperäisen suunnitelman mukaan laboratorioaamut/-aamupäivät olisivat aina ajoittuneet arkipäiville (ma – pe) ja aikavälille klo: 9:00 – 11:00, jotta ne vastaisivat tyypillisiä toimistotyöskentelyn päiviä ja alkutunteja. Käytännössä ne eivät kuitenkaan toteutuneet suunnitellusti, vaan mittausajankohdat poikkesivat edellä mainitusta (*Taulukko 6*). Koehenkilöiden osallistumista rajoittivat heidän työnsä ja muut määrittelemättömät tärkeät menonsa. Siitä syystä esimerkiksi yksi tutkimusaamupäivistä jouduttiin sijoittamaan lauantaille. Tämän lisäksi itse laboratoriossa esivalmisteluiden tekemiseen kuluva aika vaihteli. Se johtui siitä, ettei rutiinia kyseisenlaiseen työhön ollut vielä muodostunut.

Mahdolliseen laajempaan tutkimukseen osallistuvista koehenkilöistä olisi löydettävä valmiutta rajoittaa erilaisten neurostimulanttien ja alkoholin käyttöä tutkimukseen osallistumisen aikana. Neurostimulantit vaikuttavat ainakin väliaikaisesti vireystasoa nostavasti [69], joten voivat vääristää tuloksia. Runsas alkoholin käyttö puolestaan laboratorioaamua/-aamupäivää edeltävänä iltana/yönä on voinut vaikuttaa uneliaisuutta lisäävänä tekijänä [70]. Koehenkilöiden käyttämät neurostimulantit olivat kofeiini ja nikotiini. Kofeiinista ei kumpikaan koehenkilöistä ollut valmis luopumaan. Ennen pilottitutkimukseen osallistumista tehtiin koehenkilöiden kanssa kompromissi, että he juovat vain yhden kupin kahvia ja aina samaan aikaan ennen mittausten aloittamista. Nikotiinin osalta ei pystytty sopimaan mitään määriä tai käyttöaikoja koehenkilö B:n kohdalla. Kofeiinin ja nikotiinin käytöllä on ollut vaikutusta tutkimustuloksiin. Koehenkilö A ei nikotiinituotteita käyttänyt. Alkoholin käyttöä edeltävinä iltoina/öinä esiintyi molemmilla koehenkilöillä vaihtelevissa määrin. Sen osalta ei saanut tarkkoja tietoja. Käyttö oli tiedossa koehenkilöiden illanviettosuunnitelmien ja -tarinoiden perusteella.

Jatkossa järjestettävään laajempaan tutkimukseen tarvittaisiin tarkemmin ohjeistettuja ja sitoutuneempia koehenkilöitä. Koehenkilöitä pitäisi ohjeistaa ja heidän tulisi olla valmiita välttämään jo edellä mainittuja laillisia päihteitä. Myöskään muunlaista päihteiden käyttöä ei tulisi sallia tutkimukseen osallistumisen tai sitä edeltävien päivien osalta [69]. Koehenkilöiden olisi sen lisäksi oltava valmiita noudattamaan säännöllistä nukkumaanmeno- ja heräämisaikataulua. Kyseiset ajat vaihtelivat pilottitutkimuksen aikana etenkin koehenkilö B:n kohdalla, kuten jo edellä esitettiin (*Taulukko 7*). Koehenkilöillä ei siten ollut säännöllistä vuorokausirytmiä. Se voi vaikuttaa heidän vireystasoonsa. Epäsäännöllisen unirytmin lisäksi koehenkilöiden nukkumiseen käytetyt tunnit (*h*) ja minuutit (*min*) vaihtelivat suuresti (*Taulukko 10*). Kahden tunnin yöunet eivät ole riittävät, joten koehenkilö B ei nukkunut tarpeeksi. Se selittää tutkimustuloksia. Tunnit ja minuutit on laskettu nukkumaanmeno- ja heräämisaikojen perusteella seuraavasti:

$$Nukkumisaika_i(h, min) = Heräämisaika_i - Nukkumaanmeno_aika_i$$

Taulukko 10: Nukkumiseen käytetyt tunnit.

Päiväys	Koehenkilö	Valaisin	Nukkumisaika
To 23.8.2018	A	A	8 h 15 min
Pe 24.8.2018	A	A	7 h 30 min
Ma 27.8.2018	A	B	8 h 00 min
Ti 28.8.2018	A	B	8 h 00 min
Ke 29.8.2018	B	A	2 h 00 min
To 30.8.2018	B	B	4 h 05 min
La 8.9.2018	B	B	3 h 10 min
Ma 10.9.2018	B	A	4 h 30 min

Nukkumisajoista voidaan laskea keskimääräiset nukkumisajat molemmille koehenkilöille molempien valaisimien osalta. Laskeminen tapahtui seuraavasti:

$$Nukkumisaika_{Nka} = \frac{Nukkumisaika_{Na1} + Nukkumisaika_{Na2}}{2},$$

missä N = koehenkilö (A tai B) ja an = n:s aamu (n = 1, 2,...). Yllä olevaa kaavaa käytettiin molempiin valaisimiin erikseen. Lisäksi laskettiin nukkumisaikojen keskiarvo (ka) molemmista valaisimista erikseen niin, että molempien koehenkilöiden tulokset yhdistettiin. Tulokset on pyöristetty 5 min tarkkuudelle aivan kuten nukkumaanmeno- ja heräämisajatkin. Keskimääräisistä nukkumisajoista valaisinta kohden on selkeästi havaittavissa, että valaisimen B valolle altistusta edeltävinä öinä koehenkilöt nukkuivat keskimäärin enemmän kuin valaisimen A kohdalla (Taulukko 11). Täten HCL-valaisimen vaikutusta arvioitaessa tulisi ottaa huomioon edellisen yön vähäisempi unen määrä verrattuna tavalliseen valaisimeen. Tämä voi vääristää tuloksia, joten potentiaalisessa laajemmassa tutkimuksessa on erikseen huomioitava nukkumisajat ja pyrittävä pitämään ne säännöllisinä.

Taulukko 11: Molempien koehenkilöiden keskimääräiset nukkumisajat valaisinta kohden.

Valaisin A (HCL)		Valaisin B (Tavallinen)	
Koehenkilö	Nukkumisaika (ka)	Koehenkilö	Nukkumisaika (ka)
A	7 h 50 min	A	8 h 00 min
B	3 h 15 min	B	3 h 40 min
A ja B (ka)	5 h 30 min	A ja B (ka)	5 h 50 min

Pilottitutkimuksen tulokset eivät edellä mainituista seikoista johtuen ole riittävän pätevät johtopäätösten tekemiseen sen osalta, vaikuttavatko tietyt sinisen valon aallonpituudet ihmisen vireystasoon vai ei. Niiden perusteella pelkästään ei myöskään voi tehdä johtopäätöksiä siitä, onko EEG-analyysi hyvä metodi ihmisen vireystason tutkimukseen. Molempien osalta on ennemminkin nojattava jo aiemmin tehtyihin ja kattavampiin tutkimuksiin. Aiempien ja laajempien tutkimusten perusteella tietyn sinisen valon aallonpituudet vaikuttavat ihmiseen vireystasoa nostavasti [23, 24].

7 Johtopäätökset

Älykkään talotekniikan ja ihmiskeskeisen valaistuksen hyödyt ovat moninaisia, kuten myös niiden todentamismetodit. Välillisiä hyötyjä ihmisten kannalta ovat sekä taloudelliset että ekologiset hyödyt. Niiden avulla tiettyjen ulkoisten raamien ja ehtojen sisällä toimiminen helpottuu. Niiden todentaminen on selkeää vaikutusten näkyessä suoraan luvuissa, kuten voitoissa, kulutuksessa tai päästöissä. Suoria hyötyjä puolestaan ovat ihmiskeskeiset hyödyt. Ne parantavat ihmisten elämää ja tekevät siitä nautinnollisempaa. Ihmiskeskeiset hyödyt näkyvät fysiologisesti ja psykologisesti. Käytetyt metodit ovat sen mukaisia ja niitä on lukuisia: sekä kvantitatiivisia että kvalitatiivisia.

Älykkään talotekniikan avulla voidaan luoda tasapaino ekonomisten ja ekologisten hyötyjen välille niin, että sen käyttöönotto on kannattavaa. Jatkuvasti kohoavat energiakustannukset ja rakennusten käyttökustannukset vaikuttavat voimakkaasti siihen, millaisiin taloteknisiin ratkaisuihin päädytään. Energiansäästö kiinnostaa yksityisellä, yritysten ja yhteiskunnan tasolla. Se kun tuo mukanaan taloudellista säästöä sen lisäksi, että ympäristötavoitteet tulee saavutettaviksi. Älykkään talotekniikan avulla energiaa voidaan säästää, kuten myös vähentää rakennusten käyttökustannuksia. Täten sekä ekonomiset että ekologiset vaatimukset täyttyvät ja ovat keskenään tasapainossa.

Älykkään talotekniikan ylivertaisuus, verrattuna vanhempaan teknologiaan, näkyy sen ihmiskeskeisyydessä. Älykkään talotekniikan avulla ihmiset voivat kokonaisvaltaisesti paremmin ilman omaa suoraa panostusta. Älyrakennus voi huolehtia ihmisen terveydestä ja hyvinvoinnista monin eri tavoin. Se ei vaadi muuta kuin rakennuksessa oleskelua. Ihmiset joka tapauksessa viettävät suurimman osan ajastaan sisätiloissa, joten älykkään talotekniikan ja ihmiskeskeisen valaistuksen positiiviset terveysvaikutukset ilmenevät ihmisissä automaattisesti. Älykäs talotekniikka nostaa myös onnellisuuden tasoa lisäämällä vapaa-aikaa ja sopeuttamalla ympäristön henkilökohtaisten preferenssien mukaiseksi vaihtelevien tarpeiden tai toiveiden mukaan.

Älykästä talotekniikkaa ja ihmiskeskeistä valaistusta voidaan hyödyntää useissa erilaisissa kohteissa ja niistä on hyötyä koko ihmiselämän ajan. Älykäs talotekniikka ja ihmiskeskeinen valaistus voidaan mukauttaa rakennuksen käyttötarpeen ja käyttäjien mukaiseksi. Ne palvelevat monenlaisia työolosuhteita keskimääräisistä toimistorakennuksista vaativiin olosuhteisiin. Lisäksi älykäs talotekniikka ja ihmiskeskeinen valaistus ovat ihmisen tukena koko elinkaaren ajan, synnytyssairaalasta koulujen ja työpaikkojen kautta vanhainkotiin. Ei pidä myöskään unohtaa niiden tarjoamaa mahdollisuutta muovata omasta kodista itsensä ja elämäntapojensa mukainen. Koti on täten asukkaidensa jatke.

Älykkään talotekniikan ja ihmiskeskeisen valaistuksen käyttö on erityisen suositeltavaa Suomessa vuodenaikavaihtelustamme johtuen. Kesän ja talven väliset lämpötilaerot ovat Suomessa suuria. Täten miellyttäväksi koetut sisälämpötilatkin vaihtelevat vuodenaikojen mukaan. Niiden reaaliaikaiseen säätöön älykäs talotekniikka on omiaan. Myös valoisien aikojen pituus vaihtelee Suomessa pohjoisesta sijainnistamme johtuen. Se on ihmisille erityisen ongelmallista talvisin, valon vähyydestä johtuen. Ihmiskeskeisellä valaistuksella voidaan korvata auringon valon puutetta niin, ettei vuorokausirytmä häiriinny.

Kirjallisuuskatsauksen perusteella ihmiskeskeisen valaistuksen käytöllä on monia hyötyjä edellä mainitun vuorokausirytmien ylläpidon lisäksi. Ihmiskeskeisen valaistuksen avulla voidaan lisätä ihmisten tuottavuutta ja parantaa kognitiivisia kykyjä. Siitä on siten hyötyä niin työ- kuin opiskeluelämässä. Täten sen käyttö on myös taloudellisesti kannattavaa. Lisäksi, ihmiskeskeisen valaistuksen käyttö on ekologista, koska valon käyttö optimoidaan todellisen tarpeen mukaan. Valot eivät siten ole turhaan päällä tai täydellä teholla silloin kun se ei ole tarpeellista.

Tämän työn osana toteutettu pilottitutkimus, ihmiskeskeisen valaistuksen virkistävästä vaikutuksesta, vaatisi tarkempaa ja laajempaa jatkotutkimusta. Koehenkilöitä pitäisi olla useampia, kuten myös tutkimusaamuja. Koehenkilöiden pitäisi noudattaa säännöllistä vuorokausirytmä ja nukkua riittävästi. Lisäksi heidän tulisi välttää päihteitä, kuten alkoholia, nikotiinia ja kofeiinia tutkimukseen osallistumisensa aikana. Tämä vaatisi koehenkilöiden

sitouttamista joko maksamalla heille palkkiot osallistumisesta tai rekrytoimalla asialle omistautuneita koehenkilöitä esimerkiksi yliopiston henkilökunnan parista.

Pilottitutkimus oli kokonaisuudessaan hyvin opettavainen kokemus, vaikka selvyyttä EEG:n pätevyydestä vireystason todentajana ei saavutettukaan. Pilottitutkimus oli erittäin hyvää harjoitusta käytännön tutkimukselle ja laboratoriotyöskentelylle. Se herätti kiinnostuksen akateemiseen tutkimukseen. Lisäksi pilottitutkimuksen avulla saatiin tärkeää tietoa sen osalta, miten mahdollinen laajempi tutkimus kannattaisi toteuttaa. Pilottitutkimuksessa tuli hyvin esille tarve jatkaa tutkimusta tällä saralla.

Tämän diplomityön tavoitteena oli kartoittaa älykkään talotekniikan ja ihmiskeskeisen valaistuksen hyötyjä ja niiden todentamista. Lisäksi pilottitutkimuksen tarkoituksena oli tutkia ihmiskeskeisen valaistuksen vaikutusta vireystasoon ja EEG:n soveltuvuutta sen todentamiseen. Kirjallisuuskatsauksessa todettiin älykkään talotekniikan ja ihmiskeskeisen valaistuksen käytön olevan hyödyllistä ekonomisesta, ekologisesta ja ihmiskeskeisestä näkökulmasta. Hyötynäkökulmat todettiin yleiskatsauksen lisäksi rakennustyyppikohtaisesti. Kyseiset rakennustyyppit olivat: toimistorakennukset, sairaalat, koulut, kauppakeskukset ja asuinrakennukset. Pilottitutkimuksen osalta saavutettiin arvokasta tietoa ja kokemusta mahdollista tulevaa tutkimusta varten.

Lähdeluettelo

1. Moeller N, Acoustic privacy within the built environment. [verkkoaineisto]. [viitattu 14.2.2018]. Saatavissa: <https://pdfs.semanticscholar.org/d1e4/702157ef0cebc85f29f679f7265a43df8a03.pdf>.
2. Sähkömagneettinen yhteensopivuus – EMC. Tukes. [verkkosivu]. [viitattu 15.2.2018]. Saatavissa: <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/sahkolaitteet/sahkomagneettinen-yhteensopivuus-emc>.
3. Merriam-Webster. [verkkosivu]. [viitattu 22.12.2018]. Saatavissa: <https://www.merriam-webster.com>.
4. Lin J, Human Centric Smart Lighting, Are We There Yet? LEDinside, 2014. [verkkosivu]. [viitattu 13.2.2018]. Saatavissa: https://www.ledinside.com/news/2014/11/human_centric_smart_lighting_are_we_there_yet.
5. Cambridge Dictionary. [verkkosivu]. [viitattu 17.2.2018]. Saatavissa: <https://dictionary.cambridge.org>.
6. Operatiivinen lämpötila. Ensto. [verkkoaineisto]. [viitattu 9.11.2018]. Saatavissa: <http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1195454056021/1239039810756/1239039883042/1239039931696.html>.
7. Joshi S, The sick building syndrome. Indian journal of occupational environmental medicine, 2008. [verkkajulkaisu]. Vol. 12 (2). S. 61-64. [viitattu 6.1.2019]. ISSN 1998-3670. DOI [10.4103/0019-5278.43262](https://doi.org/10.4103/0019-5278.43262).
8. Kosonen, R. Comfortable and Healthy Indoor Climate. Aalto-yliopisto. [verkkoaineisto]. 1 Indoor climate quality effects on productivity, 2018. [viitattu 12.11.2018]. Saatavissa: https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/581648/mod_resource/content/1/ICQ%20ON%20PRODUCTIVITY_lecture%201.pdf.
9. Ahti-Virtanen J, Älyrakennus – siis millainen? Projektiutiset, 2019. [verkkosivu]. [viitattu 15.2.2018]. Saatavissa: <http://www.projektiutiset.fi/alyrakennus-siis-millainen/>.

- 10.** Rakennuksen (talotekniikan) toimivuustarkastelu. TAPRE-ohje, 2014. [verkkojulkaisu]. [viitattu 3.12.2018]. Saatavissa: http://www.tampere.fi/tilakeskus/material/uusikansio/9jA2b76cA/Ohje_07_Toimivuustarkastelu.pdf.
- 11.** GhaffarianHoseini A, Dahlan N, ym. The essence of future smart houses: From embedding ICT to adapting to sustainability principles. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013. [verkkojulkaisu]. Vol. 24. S. 593-607. [viitattu 13.12.2018]. ISSN 1364-0321. DOI [10.1016/j.rser.2013.02.032](https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.032).
- 12.** Ympäristö ja energia. Rakennusteollisuus. [verkkosivu]. [viitattu 20.11.2018]. Saatavissa: <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/>.
- 13.** Seppänen O. Federation of European Heating, Ventilation and Air-conditioning Associations Indoor environment and productivity in office environment, summary of the key contents of REHVA Guidebook no 6. [verkkojulkaisu]. [viitattu 5.11.2018]. Saatavissa: https://www.rehva.eu/fileadmin/Promotional_material/PPTs/Nr_6_Indoor_Climate_and_Productivity_in_Offices.pdf.
- 14.** Burman G, From Reactive to Proactive: A Shift in Smart Building Technology. Analytics India Magazine, 2017. [verkkojulkaisu]. [viitattu 28.12.2018]. Saatavissa: <https://www.analyticsindiamag.com/reactive-proactive-shift-smart-building-technology/>.
- 15.** Nurminen K, Ympäristönäkökohdat rakennushankkeiden tarveselvityksessä ja hankesuunnitelmassa. SoulSisko, 2016. [verkkojulkaisu]. [viitattu 19.11.2018]. Saatavissa: https://www.tampere.fi/tiedostot/k/W2rgj4Zz9/Rakennushankkeiden_ymparistonakokohdat.pdf.
- 16.** Maankäyttö- ja rakennusasetus, 10 luku – Rakennuksen suunnittelu ja rakentaminen, 55 § – Ekologiset näkökohdat rakentamisessa. Finlex, 1999. [verkkojulkaisu]. [viitattu 19.11.2018]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990895#L10P55>.
- 17.** Suur-Uski T, Elinkaariasioden huomioon ottaminen rakennushankkeessa. Pöyry Building Services Oy. [verkkojulkaisu]. [viitattu 19.11.2018]. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK090603.pdf>.
- 18.** Smart Readiness Indicator for Buildings. European Energy Performance of Buildings Directive 2018. [verkkosivu]. [viitattu 19.12.2018]. Saatavissa: <https://smartreadinessindicator.eu/>.

- 19.** Intelligent buildings: For smarter, healthier, more productive people. ARM, 2016. [verkkoaineisto]. [viitattu 7.11.2018]. Saatavissa: <https://www.arm.com/company/investors/-/media/arm-com/company/Investors/Other%20PDFs/ARM%20Holdings%20-%20Intelligent%20Buildings%20for%20More%20Productive%20People%20-%20Dec%202016.pdf?la=en>.
- 20.** Rantala, E. Käyttäjälähtöinen älyrakennus - Mitä käyttäjälähtöisyys älyrakennuksessa tarkoittaa? Yhdyskuntien uudistaminen -seminaari, 2015. [verkkoaineisto]. [viitattu 6.11.2018]. Saatavissa: <https://www.ara.fi/download/noname/%7BABA739C8-1872-4A8A-9DE1-9AC17DAE16B8%7D/113217>.
- 21.** Työssä jaksaminen. Julkisten ja hyvinvointialojen liitto JHL. [verkkajulkaisu]. [viitattu 28.11.2018]. Saatavissa: <https://www.jhl.fi/tyoelama/perustietoa/tyosuojelu-ja-hyvivointi/tyossa-jaksaminen/>.
- 22.** Askaripoor T, Motamedzade M, ym. Effects of light intervention on alertness and mental performance during the post-lunch dip: a multi-measure study. Industrial Health, 2018. [verkkajulkaisu]. S. 2018-0030. [viitattu 7.1.2019]. ISSN 0019-8366. DOI [10.2486/indhealth.2018-0030](https://doi.org/10.2486/indhealth.2018-0030).
- 23.** Motamedzadeh M, Golmohammadi R, ym. The effect of blue-enriched white light on cognitive performances and sleepiness of night-shift workers: A field study. Physiology & Behavior, 2017. [verkkajulkaisu]. Vol. 177. S. 208-214. [viitattu 2.11.2018]. ISSN 0031-9384. DOI [10.1016/J.PHYSBEH.2017.05.008](https://doi.org/10.1016/J.PHYSBEH.2017.05.008).
- 24.** Baek H, Min B, Blue light aids in coping with the post-lunch dip: an EEG study. Ergonomics, 2015. [verkkajulkaisu]. Vol. 58 (5). S. 803-810. [viitattu 14.11.2018]. ISSN 0014-0139. DOI [10.1080/00140139.2014.98330](https://doi.org/10.1080/00140139.2014.98330).
- 25.** Liikkanen M, Vapaa-aika – työn vastakohta, harrastuksia vai vapautta? Tilastokeskus, 2004. [verkkajulkaisu]. [viitattu 16.11.2018]. Saatavissa: https://www.stat.fi/tup/hyvinvointikatsaus/hyka_2004_2_vapaa-aika.html.
- 26.** Aalto J, Arvot ratkaisevat Suomen suunnan. Kauppalehti, 2015. [verkkajulkaisu]. [viitattu 16.11.2018]. Saatavissa: <https://blog.kauppalehti.fi/tiedosta/arvot-ratkaisevat-suomen-suunnan>.

- 27.** Kari S, Human Centric Lighting Biologisesti tehokas valaistus. VTT. [verkkojulkaisu]. [viitattu 16.11.2018]. Saatavissa: https://www.vtt.fi/sites/Valmuska/SiteCollectionDocuments/08_Kari_Glamox_Luxo.pdf.
- 28.** Kosonen, R. Comfortable and Healthy Indoor Climate. Aalto-yliopisto. [verkkoaineisto]. Lecture 1: Indoor Environment Quality, 2018. [viitattu 5.11.2018]. Saatavissa: <https://mycourses.aalto.fi/mod/resource/view.php?id=287138>.
- 29.** Kosonen, R. Comfortable and Healthy Indoor Climate. Aalto-yliopisto. [verkkoaineisto]. Lecture 4: Thermal comfort, 2018. [viitattu 6.11.2018]. Saatavissa: <https://mycourses.aalto.fi/mod/resource/view.php?id=303440>.
- 30.** de Dear R, Schiller Brager G, The adaptive model of thermal comfort and energy conservation in the built environment. International Journal of Biometeorology, 2001. [verkkojulkaisu]. Vol. 45 (2). S. 100-108. [viitattu 29.11.2018]. ISSN 00207128. DOI [10.1007/s004840100093](https://doi.org/10.1007/s004840100093).
- 31.** Cao B, Zhu Y, ym. Field study of human thermal comfort and thermal adaptability during the summer and winter in Beijing. Energy and Buildings, 2011. [verkkojulkaisu]. Vol. 43 (5). S. 1051-1056. [viitattu 15.2.2018]. ISSN 0378-7788. DOI [10.1016/J.ENBUILD.2010.0](https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2010.0).
- 32.** Lyons Hardcastle J, Why Smart Building Technology Is a 'No-Brainer'. Environmental leader, 2013. [verkkojulkaisu]. [viitattu 28.11.2018]. Saatavissa: <https://www.environmentalleader.com/2013/11/why-smart-building-technology-is-a-no-brainer/>.
- 33.** Summary for Policymakers of IPCC Special Report on Global Warming of 1.5°C approved by governments. IPCC Report, 2018. [verkkosivusto]. [viitattu: 16.12.2018]. Saatavissa: https://www.ipcc.ch/news_and_events/pr_181008_P48_spm.shtml.
- 34.** Windapo A, Examination of Green Building Drivers in the South African Construction Industry: Economics versus Ecology. Sustainability, 2014. [verkkojulkaisu]. Vol. 6 (9). S. 6088-6106. [viitattu 22.11.2018]. ISSN 2071-1050. DOI [10.3390/su6096088](https://doi.org/10.3390/su6096088).
- 35.** Advantages of owning a smart building. TakaSolutions. [verkkosivu]. [viitattu 27.11.2018]. Saatavissa: <https://takasolutions.com/blog/advantages-of-owning-a-smart-building/>.
- 36.** Koppinen T, Sustainable smart buildings built in smart ways is the way forward. Nordic Smart Building Convention, 2017. [verkkosivu]. [viitattu 26.11.2018]. Saatavissa:

<https://nordicsmartbuilding.fi/smart-building-convention/sustainable-smart-buildings-built-smart-ways-way-forward/>.

37. Kosonen, R. Comfortable and Healthy Indoor Climate. Aalto-yliopisto. [verkkoaineisto]. Lecture 3: Indoor Air Quality, 2018. [viitattu 5.11.2018]. Saatavissa:

<https://mycourses.aalto.fi/mod/resource/view.php?id=295912>.

38. Broxvall M, Gritti M, ym. PEIS Ecology: integrating robots into smart environments. Proceedings 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2006. ICRA 2006. [verkkojulkaisu]. S. 212-218. [viitattu 14.12.2018]. ISBN 0-7803-9505-0. DOI [10.1109/ROBOT.2006.16411](https://doi.org/10.1109/ROBOT.2006.16411).

39. Clements-Croome D & Baizhan L, Productivity and indoor environment. Proceedings of Healthy Buildings, 2000. Vol. 1. [verkkojulkaisu]. [viitattu 8.11.2018]. Saatavissa:

<http://senseair.senseair.com/wp-content/uploads/2011/05/31.pdf>.

40. Vingerhoets A, Flohr P, Type A behaviour and self-reports of coping preferences. British Journal of Medical Psychology, 1984. [verkkojulkaisu]. Vol. 57 (1). S. 15-21. [viitattu 14.12.2018]. ISSN 0071129. DOI [10.1111/j.2044-8341.1984.tb01576.x](https://doi.org/10.1111/j.2044-8341.1984.tb01576.x).

41. Robertson I, Cooper C, Williams J, The validity of the occupational stress indicator. Work and Stress, 1990. [verkkojulkaisu]. Vol. 4 (1). S. 29-39. [viitattu 8.11.2018]. ISSN 14645335. ISBN 0267-8373r1464-5335. DOI [10.1080/02678379008256962](https://doi.org/10.1080/02678379008256962).

42. Mu R & Pereyra-Rojas M, Practical Decision Making: an Introduction to the Analytic Hierarchy Process (AHP) Using Super Decisions V2. 2017. [viitattu 13.11.2018]. S. 107. ISBN: 978-3-319-33860-6 (painettu). ISBN 3319338617 (sähköinen).

43. Remes, L. Älyratkaisut toimistorakennusten käyttäjien havaitsemien haasteiden ratkaisijoina, 2017. Aalto-yliopisto. [verkkojulkaisu]. [viitattu 28.12.2018]. Saatavissa: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/28371>.

44. Jamrozik A, Ramos C, ym. A novel methodology to realistically monitor office occupant reactions and environmental conditions using a living lab. Building and Environment, 2018. [verkkojulkaisu]. Vol. 130. S. 190-199. [viitattu 8.11.2018]. ISSN 0360-1323. DOI [10.1016/J.BUILDENV.2017.12.024](https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2017.12.024).

45. Petzold J, Bagci F, ym. Global state context prediction techniques applied to a smart office building. University of Augsburg, Germany & University of Sibiu, Romania, 2004.

- [verkkojulkaisu]. [viitattu 7.11.2018]. Saatavissa: http://www.informatik.uni-augsburg.de/de/lehrstuehle/sik/publikationen/papers/2004_cnds_pet/2004_cnds_pet_pdf.pdf.
- 46.** Aalto Space -mobiilisovellus. Aalto-yliopisto. [verkkosivu]. [viitattu 13.2.2018]. Saatavissa: <https://aaltocre.fi/aaltospace/>.
- 47.** Geiger Brown J, Wieroney M, ym. Measuring subjective sleepiness at work in hospital nurses: validation of a modified delivery format of the Karolinska Sleepiness Scale. *Sleep and Breathing*, 2014. [verkkojulkaisu]. Vol. 18 (4). S. 731-739. [viitattu 2.11.2018]. ISSN 1520-9512. DOI [10.1007/s11325-013-0935-z](https://doi.org/10.1007/s11325-013-0935-z).
- 48.** Motamedzadeh M, Golmohammadi R, ym. The effect of blue-enriched white light on cognitive performances and sleepiness on night-shift workers: A field study. *Physiology & Behavior*, 2017. [verkkojulkaisu]. Vol. 177. S. 208-214. [viitattu 2.11.2018]. ISSN 0031-9384. DOI [10.1016/j.physbeh.2017.05.008](https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.05.008).
- 49.** Monk T, The post-lunch dip in performance. *Clinics in sports medicine*, 2005. [verkkojulkaisu]. Vol. 24 (2). S. E15-23, xi-xii. [viitattu 13.12.2018]. ISSN 1556-228X. DOI [10.1016/j.csm.2004.12.002](https://doi.org/10.1016/j.csm.2004.12.002).
- 50.** Riihimäki A, Ihmiskeskeinen valaistus: Yleisesti sekä kouluympäristössä. Tampereen ammattikorkeakoulu, 2018. [verkkojulkaisu]. [viitattu 14.12.2018]. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/146334>.
- 51.** Hughes S, Crunelli V, Thalamic Mechanisms of EEG Alpha Rhythms and Their Pathological Implications. *The Neuroscientist*, 2005. [verkkojulkaisu]. Vol. 11 (4). S. 357-372. [viitattu 29.11.2018]. ISSN 1073-8584. DOI [10.1177/1073858405277450](https://doi.org/10.1177/1073858405277450).
- 52.** Stampi C, Stone P, ym. A new quantitative method for assessing sleepiness: The alpha attenuation test. *Work & Stress*, 1995. [verkkojulkaisu]. [viitattu 14.12.2018]. ISSN 0267-8378. DOI [10.1080/02678379508256574](https://doi.org/10.1080/02678379508256574).
- 53.** Sallinen M, Uni, muisti ja oppiminen. *Duodecim*, 2013. [verkkojulkaisu]. Vol. 129 (21) S. 2253-9. [viitattu 30.11.2018]. Saatavissa: <https://www.duodecimlehti.fi/lehti/2013/21/duo11307>.
- 54.** Maldonado C, Bentley A, Mitchell D. A Pictorial Sleepiness Scale Based on Cartoon Faces. *Sleep*, 2004. [verkkojulkaisu]. Vol. 24 (3). S. 541-548. [viitattu: 2.11.2018]. ISSN 0161-8105. DOI [10.1093/sleep/27.3.541](https://doi.org/10.1093/sleep/27.3.541).

- 55.** How a shopping mall in Singapore goes green. Green future solutions, 2011. [verkkosivu]. [viitattu 3.12.2018]. Saatavissa: <http://www.greenfuture.sg/2011/11/08/how-a-shopping-mall-in-singapore-goes-green/>.
- 56.** Sellosta Suomen älykkäin ja ekoin kauppakeskus. Siemens, 2016. [verkkosivu]. [viitattu 4.12.2018]. Saatavissa: http://www.siemens.fi/fi/infrastructure_and_cities/talotekniikka/asiakasreferenssit/sello.htm.
- 57.** Kauppakeskus Sellossa oma virtuaalivoimala: Vastaavaa ei ole toteutettu missään muualla. Kauppalehti, 2019. [verkkojulkaisu]. [viitattu 4.12.2018]. Saatavissa: <https://studio.kauppalehti.fi/siemens/euroopan-ekologisin-kauppakeskus-saastaa-energiaa-virtuaalivoimalalla>.
- 58.** Pan J, Jain R, ym. An Internet of Things Framework for Smart Energy in Buildings: Designs, Prototype, and Experiments. IEEE Internet of Things Journal, 2015. [verkkojulkaisu]. Vol. 2 (6). S. 527-537. [viitattu 23.11.2018]. ISSN 2327-4662. DOI [10.1109/JIOT.2015.2413397](https://doi.org/10.1109/JIOT.2015.2413397).
- 59.** How the first shopping mall in Europe works. IMDEA Networks Institute, 2015. [verkkosivu]. [viitattu 30.11.2018]. Saatavissa: <https://phys.org/news/2015-04-smart-mall-europe.html>.
- 60.** Buys K, Laurie M, ym. Smart housing and social sustainability: Learning from the residents of Queensland's Research House. Australian journal of emerging technologies and society, 2005. [verkkojulkaisu]. Vol. 3 (1). S. 43-57. [viitattu 22.11.2018]. Saatavissa: <https://eprints.qut.edu.au/6065/>.
- 61.** Karjalainen S, Gender differences in thermal comfort and use of thermostats in everyday thermal environments. Building and environment, 2007. [verkkojulkaisu]. Vol 42 (2). S. 1594-1603. [viitattu 29.11.2018]. ISSN 0360-1323. DOI [10.1016/J.BUILDENV.2006.01.009](https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2006.01.009).
- 62.** Sisäilman laatu. Rakentaja.fi. [verkkosivu]. [viitattu 5.12.2018]. Saatavissa: https://www.rakentaja.fi/artikkelit/11468/sisailman_laatu.htm.
- 63.** Lam R, Levitt A, Canadian Consensus Guidelines for the Treatment of Seasonal Affective Disorder. Clinical and Academic Publishing, 1999. S. 160. [viitattu 7.12.2018]. ISBN-10 0968587402. ISBN-13 978-0968587409.

- 64.** Wirz-Justice A, Bucheli C, ym. Light treatment of seasonal affective disorder in Switzerland. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 1986. [verkkojulkaisu]. Vol. 74 (2). S. 193-204. [viitattu 10.12.2018]. ISSN 0001-690X. DOI [10.1111/j.1600-0447.1986.tb10606.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-0447.1986.tb10606.x).
- 65.** Czeisler C, Shanahan T, ym. Suppression of melatonin secretion in some blind patients by exposure to bright light. *New England Journal of Medicine*, 1995. [verkkojulkaisu]. Vol. 332 (1). S. 6-11. [viitattu 8.11.2018]. ISSN 0028-4793. DOI [10.1056/NEJM199501053320102](https://doi.org/10.1056/NEJM199501053320102).
- 66.** Shadid A, Wilkinson K, ym. STOP, THAT and One Hundred Other Sleep Scales. Springer-Verlag New York, 2012. [viitattu 21.11.2018]. ISBN 978-1-4419-9893-4 (sähköinen). ISBN 978-1-4419-9892-7 (kovakantinen). ISBN 978-1-4939-0775-5 (pehmeäkantinen).
- 67.** Kaida K, Takahashi M, ym. Validation of the Karolinska sleepiness scale against performance and EEG variables. *Clinical Neurophysiology*, 2006. [verkkojulkaisu]. Vol. 117 (7). S. 1574-1581. [viitattu 26.11.2018]. ISSN 1388-2457. DOI [10.1016/J.CLINPH.2006.03.011](https://doi.org/10.1016/J.CLINPH.2006.03.011).
- 68.** Transparent 5837460. ES-System. [verkkosivu]. [viitattu 21.11.2018]. Saatavissa: <https://www.essystem.pl/en/products/726;transparent-5837460>.
- 69.** Unrug A, Coenen A, ym. Effects of the Tranquillizer Diazepam and the Stimulant Methylphenidate on Alertness and Memory. *Neuropsychobiology* 1997. [verkkojulkaisu]. Vol. 36 (1). S. 42–48. [viitattu 10.12.2018]. ISSN 0302-282X. DOI [10.1159/000119359](https://doi.org/10.1159/000119359).
- 70.** Roehrs T, Roth T, Sleep, Sleepiness and Alcohol Use. *Alcohol research and health: the journal of the National Institute on Alcohol Abuse and Alcoholism*, 2001. [verkkojulkaisu]. Vol. 25 (2). S. 101-9. [viitattu 11.12.2018]. ISSN 1535-7414. Saatavissa: www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11584549.

Liiteluettelo

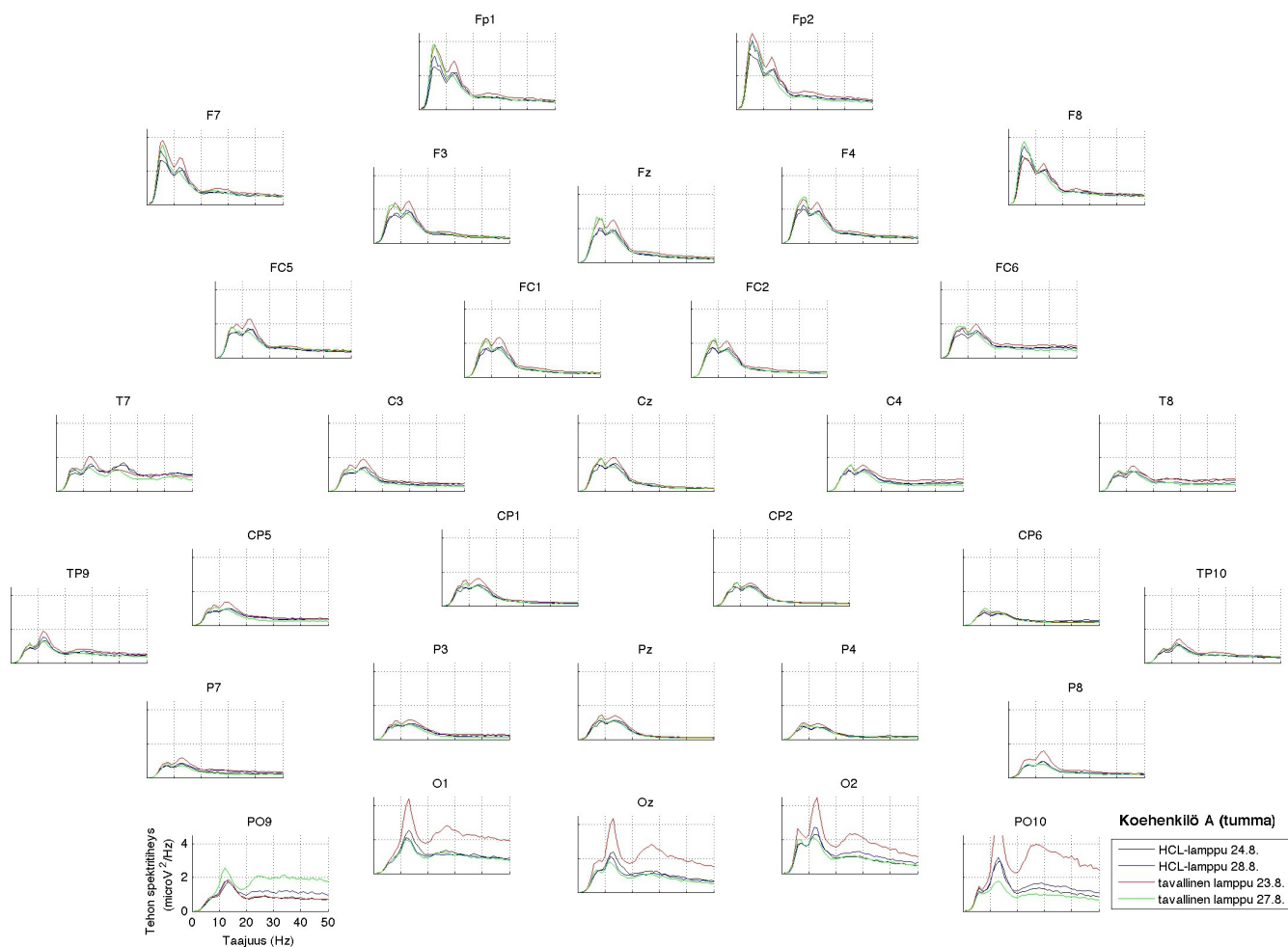
1. Valaisimen Transparent 5837460 tekniset tiedot
2. Koehenkilö A:n EEG-spektrit sensoreittain
3. Koehenkilö B:n EEG-spektrit sensoreittain

Liitteet

Liite 1: Valaisimen Transparent 5837460 tekniset tiedot

Valovirta	7600 lm
Valovoima	100 lm/W
Korreloitu värilämpötila	4000 K
Värintoistoindeksi (CRI)	> 80
Väriyhdistelmän keskihajonta (SDCM)	SDCM < 3
Valovoiman jakauman suunta	Suora/epäsuora
Valovoiman jakauman geometria	Symmetrinen
Yhtenäinen häikäisyysuhde (UGR)	15 - 21
Luminanssi, 65° ja sen yläpuolella	< 3000
Jännite	230 V AC
Teho	76 W
Langallinen valaistusjärjestelmä	DALI
IP-koodi	IP20
IEC-suojalasi	I
Diffuusiomateriaali	PMMA
Diffuusiotyyppe	Prismaattinen rakenne
Optiikka	przeźroczysty dyfuzor z nanies
Kotelon materiaali	Alumiiniprofiili
Valaisimen väri	RAL9006, puolimatta
Valaisimen muoto	Suorakaide
Sallittu ympäristön lämpötila-alue	0° – 25°C
Piirin kuormituskyky (B10)	4
Piirin kuormituskyky (B16)	6

Liite 2: Koehenkilö A:n EEG-spektrit sensoreittain



Liite 3: Koehenkilö B:n EEG-spektrit sensoreittain

